Anfahrvorrichtungen für Lokomotiven.

Dissertation

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs.

Der

Königlichen Technischen Hochschule zu Berlin

vorgelegt am 7. Mai 1913

von

Dipl.-Ing. **Otto Hoppe**
aus Stettin.

Genehmigt am 23. April 1914.

Cassel 1914.

Referent: Herr Professor J. Obergethmann.
Korreferent: Herr Geh. Reg.-Rat Professor J. Stumpf.

Meiner geliebten Frau gewidmet.

Vorwort.

Die vorliegende Arbeit ist entstanden im Anschluß an die Vorlesungen des Herrn Professors Obergethmann. Für die vielen mir gegebenen Anregungen bin ich Herrn Professor Obergethmann sehr zu Dank verpflichtet, dem ich an dieser Stelle besonderen Ausdruck verleihen möchte.

Inhaltsverzeichnis.

Literatur.

Annalen für Gewerbe und Bauwesen. 1880, 1883, 1885, 1889—1890, 1894—1897, 1900, 1909, 1911, 1913.

Dinglers Polytechnisches Journal. 1911.

Die Lokomotive. Illustrierte Monatsfachzeitschrift für Eisenbahntechniker. 1906—1912.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. 1879, 1880, 1883, 1885, 1888—1891, 1893—1898, 1900—1902, 1904, 1906, 1909, 1910.

Schweizerische Bauzeitung. 1907, 1908, 1910.

Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure. 1880, 1881, 1884, 1886, 1889, 1890, 1893—1897, 1902—1911.

Mitteilungen des Kaiserlichen Patentamtes: Patentschriften der Klassen 14 und 20.

Die Eisenbahntechnik der Gegenwart: Die Lokomotiven. 1. und 2. Auflage. C. W. Kreidels Verlag, Wiesbaden 1896, 1903.

Robert Garbe: Die Dampflokomotiven der Gegenwart. Julius Springers Verlag, Berlin 1907.

Gustav Hammer: Die Entwicklung des Lokomotivparkes bei den Preußisch-Hessischen Staatsbahnen. Sonderabdruck aus den Annalen für Gewerbe und Bauwesen 1912.

Die genaueren Angaben über die Literatur sind als Fußnoten im Text gegeben.

Hoppe, Otto.

Anfahrvorrichtungen für lokomotiven (Königlichen Technischen Hochschule zu Berlin).

Received 14 Sept 16 direct ex.

Anfahrvorrichtungen für Lokomotiven.

Von Dipl.-Ing. **Otto Hoppe.**

Einleitung.

Bei der Ingangsetzung eines Zuges handelt es sich zunächst um die Einleitung der ersten Bewegung nach der Ruhe, um »das Anfahren von der Stelle«. Jede Lokomotive muß ihre Zuglast unter allen Umständen in Bewegung setzen können, und zwar möglichst gleichmäßig ohne Rucken, um Zugtrennungen zu vermeiden. Für jede Kurbelstellung muß demnach nicht nur eine positive, sondern auch ausreichende »Anfahrzugkraft« entwickelt werden, die auch bei den ungünstigsten Verhältnissen der Strecke (Steigung und Krümmung) groß genug ist zur Ueberwindung des Anfahrwiderstandes.

Die aufeinanderfolgenden Werte der Zugkräfte am Treibradumfang werden als Tangentialdruck-(Drehkraft-)Diagramm aufgetragen. Die absolute Größe der Momentanzugkräfte ist abhängig von der Zahl der Zylinder, der Kurbelversetzung, dem jeweiligen Dampfdruck, der Höchstfüllung und der augenblicklichen Kurbelstellung. In bezug auf die Anfahrt von der Stelle ist zu untersuchen, ob in jeder, auch in der ungünstigsten Kurbelstellung, die verfügbare Anfahrzugkraft genügt, den Anfahrwiderstand zu überwinden.

Die Lokomotiven mit einfacher Dampfdehnung (gleichgültig, ob 2, 3 oder 4 Zylinder), erfüllen diese Bedingungen unter gewissen Voraussetzungen bei den üblichen Kurbelversetzungen (= K. V.) von 90^0 für die Zwei- und Vierzylinderlokomotiven und von 120^0 für die Dreizylinderlokomotiven.

Unter den Lokomotiven mit zweifacher Dampfdehnung besitzen die Zweizylinder-Verbundlokomotiven nicht ohne weiteres die Eigenschaft einer stets positiven Anfahrzugkraft; in gewissen Kurbelstellungen ist dieselbe vielmehr = 0. Die Zweizylinder-Verbundlokomotiven bedürfen daher in jedem Falle einer besonderen Einrichtung, die sie erst instand setzen muß, für jede Kurbelstellung positive und ausreichende Anfahrzugkräfte zu entwickeln.

Die Vierzylinder-Verbundlokomotiven verhalten sich wegen des Vorhandenseins zweier Hochdruckzylinder mit 90^0 K. V. ähnlich wie die Zwillingslokomotiven. Eine positive Anfahrzugkraft ist immer vorhanden. In den ungünstigsten Kurbelstellungen wird dieselbe jedoch wegen des verhältnismäßig kleinen Durchmessers der Hochdruckzylinder meist unzureichend sein, so daß auch die Vierzylinder-Verbundlokomotiven in der Regel mit einer Einrichtung zur Erleichterung des Anfahrens versehen sein müssen.

Die für das Anfahren notwendigen Vorrichtungen hat man nach der beabsichtigten Wirkung allgemein als »Anfahrvorrichtungen« bezeichnet. Gemäß

ihrer Wichtigkeit für den Lokomotivbetrieb enthält die technische Literatur von den zahlreichen Anfahrvorrichtungen viele Einzelbeschreibungen, welche jedoch alle mehr oder weniger eine systematische kritische Bewertung vermissen lassen. Die Anfahrverhältnisse der Lokomotiven mit einfacher Dampfdehnung sind dabei niemals in den Kreis der Betrachtungen gezogen. Es kann daher nützlich erscheinen, nach Erörterung der für die einzelnen Lokomotivgattungen maßgebenden Verhältnisse und der für das Anfahren zur Anwendung gekommenen Hilfsmittel die wichtigsten Anfahrvorrichtungen zu untersuchen und die Bedingungen klarzustellen, denen brauchbare Anfahrvorrichtungen genügen müssen.

I. Die Anfahrverhältnisse der Lokomotiven mit einfacher Dampfdehnung.

Die Lokomotiven mit einfacher Dampfdehnung sind ausgeführt als Zwei-, Drei- und Vierzylinderlokomotiven. Die weitaus größte Verbreitung hat die Grundbauart, die einfache Zwillingslokomotive, gefunden, welche in diesem Abschnitt auch vorzugsweise betrachtet werden soll.

A) Die Anfahrverhältnisse der Zwillingslokomotiven.

a) Die Anfahrvorgänge.

Grundlegend für die Gestaltung der Anfahrvorgänge ist die Kurbelversetzung der beiden Maschinenseiten. Soll aus jeder Kurbelstellung ein Angehen ohne jedes Hilfsmittel erfolgen können, so muß auch dann, wenn die eine Kurbel im Totpunkt steht, eine genügend große Anfahrzugkraft vorhanden sein. Am besten geeignet dazu ist die für Zwillingslokomotiven auch ausnahmslos angewandte K. V. von 90°. Bei 180° K. V. würden Zwillingslokomotiven aus den Totpunkten (und den benachbarten Kurbellagen) überhaupt nicht anziehen können, weil in diesen keine Tangentialkraft vorhanden wäre.

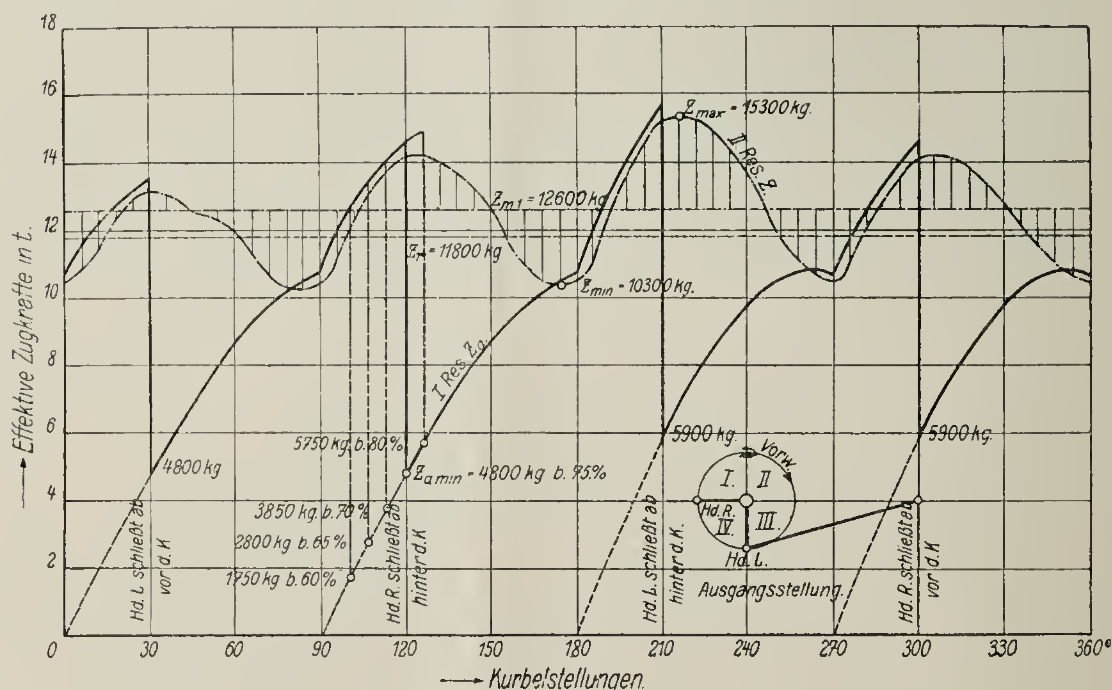


Abb. 1. Die Anziehkräfte am Treibradumfang der D Naßdampf-Zwillings-Güterzuglokomotive Gruppe G_{7Zw} der Preußischen Staatsbahn.

$C_1 = 1362{,}0$, $C_2 = 26{,}0$, $p_k = 12$ at, $\varepsilon_{max} = 75$ vH, $\frac{r}{l} = \frac{1}{8{,}81}$.

Die Anfahrverhältnisse der Zwillingslokomotiven sind untersucht in Abb. 1 für ein bestimmtes Beispiel, und zwar für die D Naßdampf-Zwillings-Güterzuglokomotive Gruppe $G_{7\,Zw}$ der Preußischen Staatsbahn[1]). Die Hauptabmessungen dieser Lokomotiven enthält Zahlentafel 1, S. 11.

Zahlentafel 1.
Hauptabmessungen der D Naßdampf-Zwillings-Güterzuglokomotive Gruppe $G_{7\,Zw}$ der Preußischen Staatsbahn.

Zylinderdurchmesser $d =$	2 × 520 mm
Kolbenhub $s = 2\,r =$	630 mm
Treibraddurchmesser $D =$	1250 mm
Verhältnis $\frac{r}{l} =$	$\frac{1}{8{,}81}$
Höchstfüllung (mittlere) $\varepsilon_{max} =$ . . .	75 vH
Kesselüberdruck $p_k =$	12 at
Reibungsgewicht $G_r =$	52,3 t
1. Charakteristik $C_1 = \frac{d^2 \cdot s}{D} =$ . . .	1362,0
2. Charakteristik $C_2 = \frac{C_1}{G_r} =$ . . .	26,0

Die Werte der effektiven Zugkräfte am Treibradumfang für die einzelnen Kurbelstellungen in Abb. 1 (wie in allen entsprechenden Schaubildern) sind unter Berücksichtigung der endlichen Länge der Treibstangen errechnet aus

$$Z = \eta_1 \frac{r}{R} \frac{d^2 \pi}{4} p_i \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \beta} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1).$$

Die Werte von p_i sind aus in üblicher Weise verzeichneten Dampfdiagrammen entnommen. Die Anfangsdrücke im Zylinder sind gleich der Kesselspannung angenommen, da Drosselverluste bei den in Betracht kommenden ganz geringen Geschwindigkeiten nicht vorhanden sind. Die Dehnungslinien sind als gleichseitige Hyperbeln verzeichnet; wegen ihrer Kürze bei den Höchstfüllungen auch für Heißdampf genügend genau.

An die Beziehungen zwischen Kolbendruck und Zugkraft am Treibradumfang sei durch Abb. 2 erinnert. Das ±-Zeichen in Gl. (1) bringt den Einfluß der endlichen Länge der Treibstangen zum Ausdruck; es gilt das —-Zeichen für die Kurbelstellungen im 1. und 4. Quadranten, das +-Zeichen für diejenigen

Abb. 2. Zusammenhang zwischen Kolbendruck und Zugkraft am Treibradumfang.

[1]) E. T. d. G. 2. Aufl. S. 34. Die Lokomotive 1910 S. 86. Garbe, Zahlentafel 2, Nr. 7.

im 2. und 3. Quadranten. Die Werte von $\frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \beta}$ für verschiedene $\frac{r}{l}$ für alle Kurbelstellungen zwischen 0^0 und 360^0 enthält Zahlentafel 2, S. 12.

Zahlentafel 2.

Werte von $\frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \beta}$ für verschiedene Werte von $\frac{r}{l}$.

Kurbelwinkel α^0		$\frac{r}{l} = \infty$	$\frac{r}{l} = \frac{1}{8,81}$	$\frac{r}{l} = \frac{1}{5,77}$	Kurbelwinkel α^0		$\frac{r}{l} = \infty$	$\frac{r}{l} = \frac{1}{8,81}$	$\frac{r}{l} = \frac{1}{5,77}$
1. Quadrant:	0	0,0	0,0	0,0	3. Quadrant:	190	0,17	0,19	0,20
$(\alpha - \beta)$	10	0,17	0,16	0,14	$(\alpha + \beta)$	200	0,34	0,37	0,39
	20	0,34	0,31	0,29		210	0,50	0,55	0,57
	30	0,50	0,44	0,42		220	0,64	0,70	0,72
	40	0,64	0,58	0,56		230	0,77	0,82	0,84
	50	0,77	0,70	0,68		240	0,87	0,91	0,94
	60	0,87	0,81	0,78		250	0,94	0,98	0,99
	70	0,94	0,90	0,88		260	0,98	1,01	1,01
	80	0,98	0,96	0,96		270	1,0	1,0	1,0
	90	1,0	1,0	1,0					
2. Quadrant:	100	0,98	1,01	1,01	4. Quadrant:	280	0,98	0,96	0,96
$(\alpha + \beta)$	110	0,94	0,98	0,99	$(\alpha - \beta)$	290	0,94	0,90	0,88
	120	0,87	0,91	0,94		300	0,87	0,81	0,78
	130	0,77	0,82	0,84		310	0,77	0,70	0,68
	140	0,64	0,70	0,72		320	0,64	0,58	0,56
	150	0,50	0,55	0,57		330	0,50	0,44	0,42
	160	0,34	0,37	0,39		340	0,34	0,31	0,29
	170	0,17	0,19	0,20		350	0,17	0,16	0,14
	180	0,0	0,0	0,0		360	0,0	0,0	0,0

Der mechanische Gütegrad $\eta_1 = \frac{Z_e}{Z_i}$, der von der Bauart der Lokomotive abhängig ist, insbesondere von der Zahl der Zylinder, der Art der Stopfbüchsen und Schieber (Flach- oder Kolbenschieber), dem Dampfdruck, der Anzahl der gekuppelten Achsen usw., ist hier in allen Fällen der Einfachheit wegen zu 0,85 angenommen. Es sei aber darauf hingewiesen, daß η_1 für alle Arbeitslagen der Lokomotive eigentlich nicht als konstanter Wert anzusehen ist und man nach Prof. Obergethmann besser rechnet mit einem festen Zuschlag zu dem Laufwiderstand der Lokomotive, diese als Wagen aufgefaßt[1]).

In den Zugkraft-Schaubildern sind stets eingetragen als Schaulinie I die für jede Kurbelstellung bei der Höchstfüllung verfügbaren effektiven Anfahrzugkräfte Z_a, am Treibradumfang wirkend; d. h. die bei Oeffnung des Reglers noch im Stillstand der Lokomotive erzeugten und auf den Treibradumfang übertragenen Kolbenkräfte, welche die Einleitung der Bewegung, das »Anfahren von der Stelle«, bewirken. Diese Schaulinie zeigt, daß bei Zwillingslokomotiven bei Höchstfüllungen von mehr als 50 vH für jede Kurbelstellung eine positive Anfahrzugkraft Z_a entwickelt wird. Ein Minimum von Z_a tritt immer dann auf, wenn einer der beiden Schieber gerade abgeschlossen hat und die Lokomotive mit einem Zylinder allein anziehen muß. Diese Werte von Z_a sind infolge der endlichen Länge der Treibstangen nicht einander gleich, sondern der kleinste Wert der Anfahrzugkräfte, $Z_{a\,\text{mim}}$, wird erreicht, wenn der allein arbeitende Zylinder seinen Frischdampf »hinter« dem Kolben (auf der Kurbelseite) erhält. Seine Kurbel steht dann im 1. Quadranten und hier gilt Gl. (1) mit $\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta}$; bei $\frac{r}{l} = \infty$ wären diese Werte einander gleich.

[1]) Annalen 1913 Nr. 1 bis 3.

Schaulinie II zeigt stets den Verlauf der effektiven Zugkräfte Z am Treibradumfang, unter Beibehaltung der Höchstfüllung, während der ersten Umdrehung nach dem Anfahren von der Stelle, wo bereits regelmäßige Dampfverteilung eingetreten ist. Der Mittelwert dieser Zugkräfte ist die überhaupt erreichbare größte mittlere Zugkraft Z_{m1} der Lokomotive.

Diese beiden Werte, »die kleinste Anfahrzugkraft bei der ungünstigsten Kurbelstellung« $Z_{a\,min}$ und »die größte mittlere Zugkraft der Lokomotive« Z_{m1}, sind maßgebend für die Beurteilung der Anfahrverhältnisse. In den folgenden Untersuchungen sollen daher für jede Lokomotivgattung diese beiden besonderen Werte der Zugkräfte ermittelt werden. Um einen Maßstab für ihre Größe zu erhalten, setzt man dieselben zweckmäßig in Vergleich zu der Reibungszugkraft Z_r der Lokomotive und ermittelt aus

$$\frac{Z_{a\,min}}{Z_r} = c_{min} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2\,a),$$

und aus

$$\frac{Z_{m1}}{Z_r} = c_{m1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2\,b),$$

die Ausnutzung der Reibungszugkraft durch $Z_{a\,min}$ und Z_{m1}. Für das Anfahren kann die Reibungszahl μ wegen der Möglichkeit der Benutzung der Sandstreuer hoch angenommen werden; man kann hierbei mit einer Beanspruchung von 225 kg/t Reibungsgewicht $\left(\mu = \frac{1}{4{,}5}\right)$ rechnen. Will man für alle Fälle sichere und flotte Anfahrt haben, so sollte sein

$$Z_{a\,min}{}^{kg} \text{ etwa } 0{,}4 \text{ bis } 0{,}5\; Z_r{}^{kg} = \infty\, 0{,}1\; G_r{}^{kg}$$

und

$$Z_{m1}{}^{kg} \text{ etwa } 0{,}9 \text{ bis } 1{,}0\; Z_r{}^{kg} = \infty\, 0{,}2\; G_r{}^{kg}.$$

Diese Grenzen sind nicht als absolut fest anzusehen; je mehr man sich aber davon nach unten entfernt, je mehr läuft man Gefahr, daß beim Zusammentreffen ungünstiger Umstände (schwerer Zug, ungünstige Kurbelstellung, Anfahren auf Steigung oder in Krümmung) eine Lokomotive öfters nicht anfährt. Für die größte mittlere Zugkraft Z_{m1} gilt noch als Bedingung, daß mit ihr die Reibungsgrenze zwar erreicht, aber möglichst nicht überschritten werden soll, um Schleudern zu vermeiden.

Um für jede Lokomotive $Z_{a\,min}$ und Z_{m1} aus ihren Abmessungen ermitteln zu können, sind für die verschiedenen Lokomotivgattungen aus Gl. (3a) und Gl. (3b) die Koeffizienten k_{min} und a_{m1} ermittelt. Es folgt aus Gl. (1)

$$Z_{a\,min} = \frac{r}{R}\,\frac{d^2\pi}{4}\,p_i\,\eta_1\,\frac{\sin(\alpha-\beta)}{\cos\beta}.$$

Setzt man für

$$p_i = a p_k$$

und für $\frac{d^2\,r}{R} = \frac{d^2\,s}{D} = C_1$ (= 1. Zugkraftcharakteristik),

so wird

$$Z_{a\,min} = \frac{\pi}{4}\,C_1 p_k a\,\eta_1\,\frac{\sin(\alpha-\beta)}{\cos\beta}.$$

Wird $\left(a\,\eta_1\,\frac{\sin(\alpha-\beta)}{\cos\beta}\right)$ als k_{min} bezeichnet und die Gleichung nach k_{min} aufgelöst, so ergibt sich

$$k_{min} = \frac{Z_{a\,min}}{0{,}785\; C_1 p_k} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3\,a).$$

Es folgt ferner aus der allgemeinen Zugkraftgleichung

$$Z_{m1} = \frac{d^2\,s}{D}\,p_{m1}\,\eta_1.$$

Setzt man wieder

$$\frac{d^2 s}{D} = C_1$$

und für

$$p_{m1} \eta_1 = p_k a_{m1},$$

so ergibt sich, wenn die Gleichung nach a_{m1} aufgelöst wird,

$$a_{m1} = \frac{Z_{m1}}{C_1 p_k} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3\,\text{b}).$$

Die für ein bestimmtes Beispiel ermittelten Schaulinien und Zahlenwerte der Zugkräfte gelten zwar allein für dieses. Der Verlauf der Schaulinien und die daraus abgeleiteten Koeffizienten sind aber als allgemein gültig anzusehen. Von Einfluß auf die Gestaltung der Schaulinien ist, bei gleichen K. V. und gleichen Höchstfüllungen, nur das Verhältnis $\frac{r}{l}$ von Kurbelhalbmesser zur Treibstangenlänge. Dieser Einfluß ist jedoch weniger erheblich; für die einzelnen Kurbelstellungen werden die maßgebenden Zugkräfte bei verschiedenen $\frac{r}{l}$, die meist zwischen $\frac{1}{5{,}5}$ bis $\frac{1}{9}$ liegen, fast gar nicht geändert. Eine Betrachtung der Zahlentafel 2, S. 12, läßt dies erkennen.

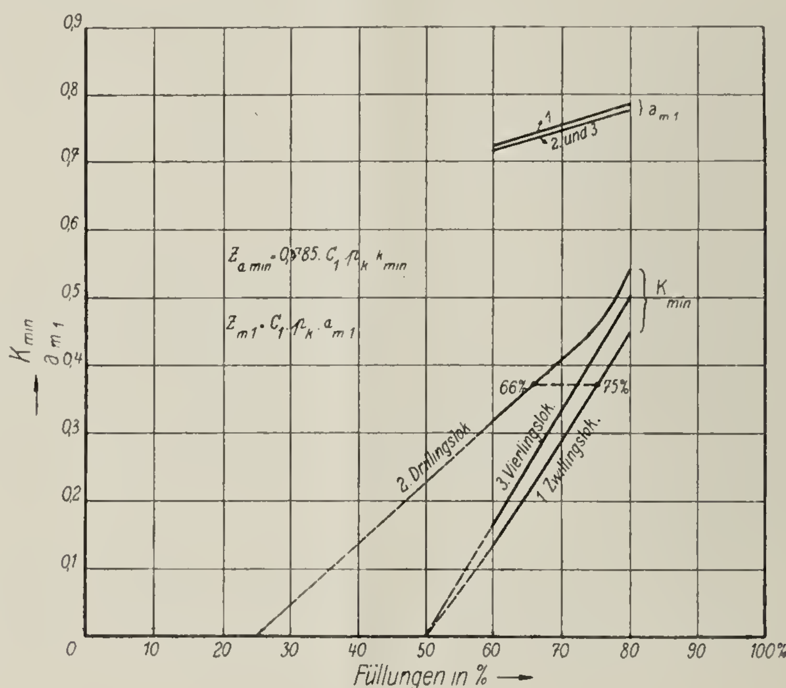


Abb. 3.

In Zahlentafel 3, S. 15, Spalte 7 und 10, bezw. in Schaubild 3 sind die so gefundenen Werte von k_{min} und a_{m1} eingetragen.

Ob nun eine Lokomotive die inbezug auf Anfahrzugkräfte zu stellenden Bedingungen erfüllt, kann bei Benutzung dieser Werte mit genügender Genauigkeit leicht festgestellt werden durch Ermittlung von $Z_{a\,min}$ und Z_{m1} aus Gl. (3 a') und Gl. (3 b'):

$$Z_{a\,min} = 0{,}785\, C_1 p_k k_{min} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3\,\text{a}')$$

$$Z_{m1} = C_1 p_k a_{m1} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3\,\text{b}').$$

Für die D Lokomotive unseres Beispiels ergeben sich bei einer mittleren Höchstfüllung von 75 vH nach Abb. 1 $Z_{a\,min}$ zu 4800 kg und Z_{m1} zu 12600 kg. Bei einem Reibungsgewicht von $G_r = 52{,}3$ t beträgt die größte Reibungszugkraft $Z_r = 11\,800$ kg; entsprechend ergeben sich als Ausnutzungsziffern $c_{min} = 0{,}41$ und $c_{m1} = 1{,}068$. Die größte mittlere Zugkraft überschreitet also bereits die

Reibungsgrenze; die kleinste Anfahrzugkraft $Z_{a\,min}$ dagegen bleibt selbst bei 75 vH Höchstfüllung an der unteren Grenze der Bedingung.

Der zahlenmäßige Wert von $Z_{a\,min}$ und Z_{m1} ist zunächst abhängig von den Maschinenabmessungen der Lokomotiven, d. h. von der Zugkraftcharakteristik C_1[1]). Diese sollte daher mit Rücksicht auf das Anfahren immer so groß gewählt werden, als es die dampfwirtschaftlichen Verhältnisse, die Zapfendrücke usw. zulassen. Lokomotiven mit verhältnismäßig kleinem C_1 ergeben zu geringe Anfahrzugkräfte. Als Beispiel dafür mögen die Lokomotiven Nr. 7 und 8 der Zahlentafel 15, S. 72/73, gelten, welche bei $\varepsilon_{max} = 75$ vH nur Ausnutzungsziffern von $c_{min} = 0{,}31$ und $c_{m1} = 0{,}81$ aufweisen. Für das Anfahren günstige Zylinderverhältnisse haben dagegen fast alle neueren Heißdampflokomotiven der Preußischen Staatsbahn; vergl. Nr. 6 und 10 der Zahlentafel 15. Letztere Lokomotive, die bekannte 2-B Heißdampf-Schnellzuglokomotive Gruppe S_6 der Preußischen Staatsbahn[2]), hat aber leider zu kleine Höchstfüllungen[3]), die, wie noch gezeigt wird, $Z_{a\,min}$ zu stark verkleinern.

Liegen die Maschinenabmessungen fest, so werden $Z_{a\,min}$ und Z_{m1} nur noch beeinflußt von der Größe der Höchstfüllungen. Bei den großen Füllungen wächst mit ihrer Steigerung Z_{m1} nur wenig. In Zahlentafel 3, Spalte 8, sind die Werte von Z_{m1} angegeben, wie sich dieselben für mittlere Höchstfüllungen von 60 bis 80 vH ergeben. Bei Zunahme der Höchstfüllung um 20 vH wächst Z_{m1} nur von 11 850 kg auf 12 850 kg, das sind 8,4 vH.

Zahlentafel 3.

Kleinste effektive Anfahrzugkräfte $Z_{a\,min}$ und größte mittlere effektive Zugkräfte Z_{m1} (am Treibradumfang) der Lokomotiven mit einfacher Dampfdehnung.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nr.	Lokomotivgattung Beispiel	größte mittlere Füllung ε_{max} vH	größte Reibungszugkraft Z_r kg	kleinste effektive Anfahrzugkraft $Z_{a\,min}$: $Z_{a\,min}$ kg	$\frac{Z_{a\,min}}{Z_r} = c_{min}$	k_{min}	größte mittlere effektive Zugkraft Z_{m1}: Z_{m1} kg	$\frac{Z_{m1}}{Z_r} = c_{m1}$	a_{m1}
1	Zwillings-Lokomotive:	60	11 800	1750	0,148	0,136	11850	1,003	0,725
	Gruppe $G_{7\,Zw}$ der preuß.	65	»	2800	0,237	0,218	12100	1,026	0,740
	Staatsbahn	70	»	3850	0,326	0,299	12350	1,046	0,755
	$C_1 = 1362{,}0$	75	»	4800	0,410	0,374	12600	1,068	0,770
	$C_2 = 26{,}0$	80	»	5750	0,490	0,448	12850	1,083	0,785
2	Drillings-Lokomotive:	70	11 800	6100	0,517	0,411	14100	1,195	0,746
	Gruppe T_6 der preuß.	70	*15 300*	*6600*	*0,431*		*15300*	*1,0*	
	Staatsbahn	75	11 800	6700	0,561	0,452	14400	1,220	0,762
	$C_1 = 1575{,}0$ *1454,0**	75	*15 300*	*7250*	*0,474*		*15600*	*1.020*	
	$C_2 = 30{,}1$ *21,4*	80	11 800	8100	0,686	0,546	14700	1,245	0,778
		80	*15 300*	*8800*	*0,575*		*15950*	*1,042*	
3	Vierlings-Lokomotive:	70	11 350	3750	0,330	0,338	10500	0,925	0,744
	Gruppe $S_{10\,Zw}$ d. pr. Stb.	75	»	4650	0,410	0,420	10750	0,947	0,761
	$C_1 = 1176{,}6$	80	»	5500	0,485	0,496	10950	0,965	0,775
	$C_2 = 23{,}3$								

* Die Werte in Kursivschrift gelten für die D-2 Dreizylinder-Naßdampf-Tenderlokomotive der Great Central-R. (vergl. Zahlentafel 6 Nr. 2 S. 22).

[1]) s. Abhandlung von Obergethmann, Annalen 1911 Nr. 4.

[2]) Garbe S. 442 ff. und Zahlentafel II Nr. 24.

[3]) s. Steuerungsablehrung der S_6; Garbe S. 329.

Von wesentlichster Bedeutung dagegen ist die Größe von ε_{max} auf den Wert der kleinsten Anfahrzugkraft $Z_{a\,min}$. Je kleiner die Füllung wird, um so frühzeitiger erfolgt der Schieberabschluß (vergl. Abb. 1), und um so kleiner wird $Z_{a\,min}$. Bei Abnahme der Höchstfüllung von 75 vH auf 70 vH und 60 vH sinkt $Z_{a\,min}$ schnell von 4800 auf 3850 kg und 1750 kg; bei 50 vH Höchstfüllung ist $Z_{a\,min}$ überhaupt $= 0$! Im ersteren Fall ergeben sich als Ausnutzungsziffern $c_{min} = 0{,}326$ bezw. 0,148; Werte, die als völlig ungenügend zu erachten sind. Bei $\varepsilon_{max} = 80$ vH dagegen wächst $Z_{a\,min}$ auf den unsere Bedingung völlig erfüllenden Wert von 5750 kg; es wird nämlich $c_{min} = 0{,}490$.

b) Mittel zur Verbesserung der Anfahreigenschaften bei Zwillingslokomotiven.

Zugunsten sicheren und flotten Anfahrens sollten also große Höchstfüllungen von mindestens 75 bis 80 vH angewendet werden; 70 vH ist bereits als zu gering anzusehen. Größte mittlere Zugkräfte Z_{m1} an der Reibungsgrenze sind bei entsprechendem C_1 bezw. C_2 zwar schon bei Höchstfüllungen von 60 bis 70 vH zu erreichen; vergl. Zahlentafel 3, Spalte 9. $Z_{a\,min}$ ist aber dabei zu klein. Als Beweis dafür mag die wiederholt beobachtete Tatsache gelten, daß die bereits erwähnte Lokomotive Gruppe S_6 der Preußischen Staatsbahn trotz ihrer großen Zylinder von 550 mm Dmr. aus den Kurbelstellungen um 25° nach den Totpunkten öfters nicht anfährt. Ihre mittlere Höchstfüllung beträgt nur etwa 70 vH und dementsprechend $Z_{a\,min} = 0{,}785\ C_1 p_k\ k_{min} = 2680$ kg! Bei 400 bis 500 t

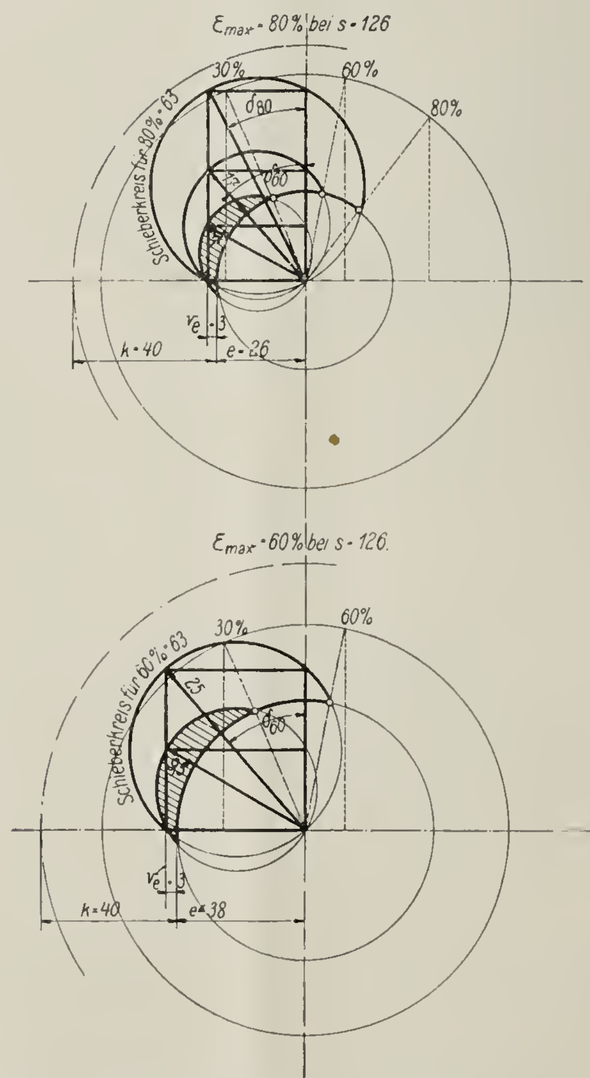


Abb. 4. Vergleich zweier Heusinger-Steuerungen mit gleichen größten Schieberwegen und Höchstfüllungen von 60 vH und 80 vH.

schwerem Zuge, einschließlich Lokomotive und Tender, und 7 kg/t Anfahrwiderstand (z. B. 3 kg/t für Widerstandskonstante + 2,5 kg/t für Krümmung + 1,5 kg/t für leichte Steigung = 7 kg/t) kann aber die erforderliche Anfahrzugkraft leicht betragen $Z_a = 2800$ bis 3500 kg!

Will man größere Werte von $Z_{a\,min}$ erreichen, so kann dies bei gegebenen Maschinenabmessungen nur geschehen durch Verlängerung der Frischdampfzuführung zu den Zylindern. Steuerungen, welche daher Höchstfüllungen von 75 bis 80 vH ergeben sollen, erfordern aber verhältnismäßig große größte Schieberwege, wobei mit Rücksicht auf Ruhe des Ganges der Steuerung und auf günstige Abmessungen für Schieber und Schieberspiegel über ein gewisses Maß nicht hinausgegangen werden kann. Für die kleinen, besonders in Fahrt gebrauchten Füllungen von 25 bis 30 vH ergeben sich dann nur kleine Schieberwege mit kleinen Kanaleröffnungen. Letztere müssen aber gerade für diese Füllungen so groß als irgend möglich gemacht werden, um den Arbeitsdampf mit den geringsten Drosselverlusten in die Zylinder zu bekommen. Bedeutend größere Kanaleröffnungen erhält man, wenn man den gleichen größten Schieberweg für eine kleinere Höchstfüllung, etwa 60 vH benutzt In Abb. 4 sind für zwei solche Steuerungen mit gleichen größten Schieberwegen, von denen die eine 80 vH, die andere nach entsprechender Vergrößerung der Einlaßdeckung nur 60 vH Höchstfüllung ergibt, die Dampfverteilung in Zeunerschen Schaulinien dargestellt. Die daraus für die einzelnen Füllungsgrade sich ergebenden Verhältnisse sind in Zahlentafel 4 angegeben.

Zahlentafel 4.

Vergleich zweier Heusinger-Steuerungen mit gleichen größten Schieberwegen bei verschiedenen Höchstfüllungen.

Höchstfüllung ε_{max}	80 vH mm	60 vH mm
größter Schieberweg s_{max}	126	126
Einlaßdeckung e	26	38
lineares Voreilen v_e	3	3
Kanalbreite k	40	40
Schieberweg s_{30} } für $\varepsilon = 30$ vH	66	95
Kanaleröffnung o_{30} } für $\varepsilon = 30$ vH	7,0	9,5
Schieberweg s_{60} } für $\varepsilon = 60$ vH	86	126
Kanaleröffnung o_{60} } für $\varepsilon = 60$ vH	17	25

Man erkennt daraus, daß für die in Fahrt meist gebrauchte Füllung von 30 vH ein Schieberweg von 95 mm gegen 66 mm und eine Kanaleröffnung von 9,5 mm gegen 7,0 mm sich ergeben; das bedeutet eine Verbesserung des Einströmquerschnittes von mehr als ein Drittel.

Ebenso große Kanaleröffnungen zugleich mit Höchstfüllungen von 75 bis 80 vH zu erreichen, ist ziemlich schwierig. Den besten Aufschluß über diese Verhältnisse gibt die Abhandlung von Prof. Obergethmann: »Zur Frage der Außen- oder Inneneinströmung bei den Schiebern der Heißdampflokomotiven; ihre größten Füllungen und Anziehkräfte«[1]). Nur bei sorgfältiger Beachtung aller in Betracht kommenden Faktoren ist es möglich, solche Steuerungen zu finden, welche bei großen Höchstfüllungen zugleich für die in Fahrt meist gebrauchten Füllungen größere Kanaleröffnungen ergeben als die Mehrzahl der zur Zeit ausgeführten Steuerungen.

[1]) Organ 1910 S 397.

Die Anwendung von Höchstfüllungen von 75 vH und mehr, welche mit der äußeren Steuerung gegeben werden sollen, ist durch die Rücksicht auf die Kanaleröffnungen bei den meist gebrauchten kleinen Füllungen also stark beeinträchtigt. Prof. Obergethmann hat daher vorgeschlagen, die Höchstfüllungen von vornherein geringer zu wählen, etwa zu 60 bis 65 vH. Die dadurch für das Anfahren von der Stelle erforderlich werdenden Zusatzfüllungen sollen durch eine besondere Anfahrvorrichtung erfolgen. Diese bewirkt die Nach-

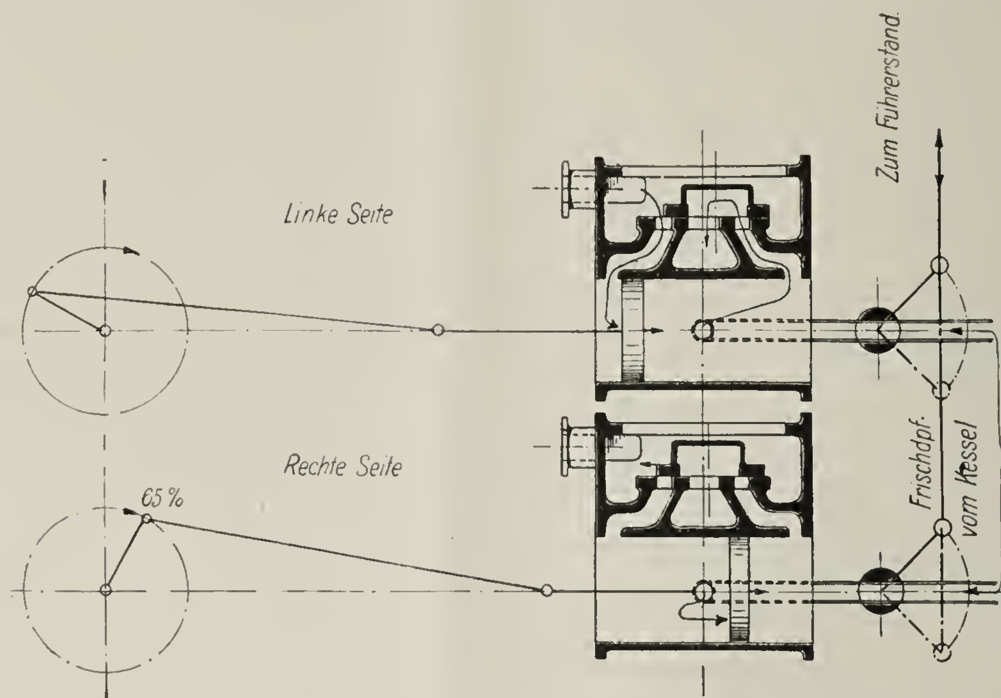


Abb. 5. Anfahrvorrichtung von Obergethmann für Zwillingslokomotiven.

füllung der Zylinder mit Frischdampf, bei gänzlichem Verzicht auf Benutzung der äußeren Steuerung, mittels zweier vom Kessel kommenden Hilfsrohrleitungen, welche unter Einschaltung von Rückschlagventilen je auf die Mitten beider Zylinder münden. In die Rohrleitungen sind Absperrhähne eingeschaltet, die vom Führer durch gemeinsamen Zug betätigt werden. In Abb. 5 ist die Gesamtanordnung schematisch dargestellt. Die Kurbeln stehen in ungünstigster Lage; auf der rechten Seite hat der Schieber bei etwa 65 vH Kolbenweg gerade abgeschlossen; der linke Kolben müßte allein anziehen. Zu seiner Unterstützung wird auch dem rechten Kolben durch Oeffnen der Anfahrleitungen Frischdampf nach Zylindermitte zugeführt. Gleichzeitig strömt derselbe zwar auch in den linken Zylinder, auf die Gegenseite des Kolbens. Bei der betreffenden Kurbelstellung ist hier der Auslaß aber geöffnet, so daß schädlicher Gegendruck nicht entstehen kann, sondern nur ein unbedeutsamer Dampfverlust. Die Anfahrleitung ist jedoch nicht jedesmal beim Anfahren sofort zu öffnen, sondern immer erst nach 2 bis 3 Sekunden, um abzuwarten, ob die Lokomotive ohne Benutzung der Vorrichtung nicht anfährt; sogleich nach dem Eintritt der Bewegung ist die Anfahrleitung stets zu schließen. Es kann also vor dem Anfahren nur eine einmalige Auffüllung des betreffenden Zylinders mit Frischdampf erfolgen, was in allen Fällen auch zum Anfahren genügt.

Lindner geht bei seiner Steuerungsanordnung[1]), D. R. P. Nr. 177698 vom 21. Mai 1905, von dem gleichen Grundgedanken aus, die Höchstfüllung auf 60 vH zu beschränken, um für die Fahrtfüllungen um 30 vH große Kanaleröffnungen zu erhalten. Die für das Anfahren von der Stelle notwendige Nach-

[1]) Organ 1909 S. 322. Die Lokomotive 1913 S. 247.

füllung läßt Lindner aber vornehmen durch besondere, von der äußeren Steuerung mitbewegte Hilfsschieber. Diese leiten nach Einlaßschluß durch den Hauptschieber bei voll ausgelegter Steuerung Frischdampf bis etwa 80 vH Kolbenweg in die Zylinder, um für den ungünstigsten Fall des Anfahrens von der Stelle c_{min} bis auf 0,5 zu bringen (vergl. Zahlentafel 3, S. 15).

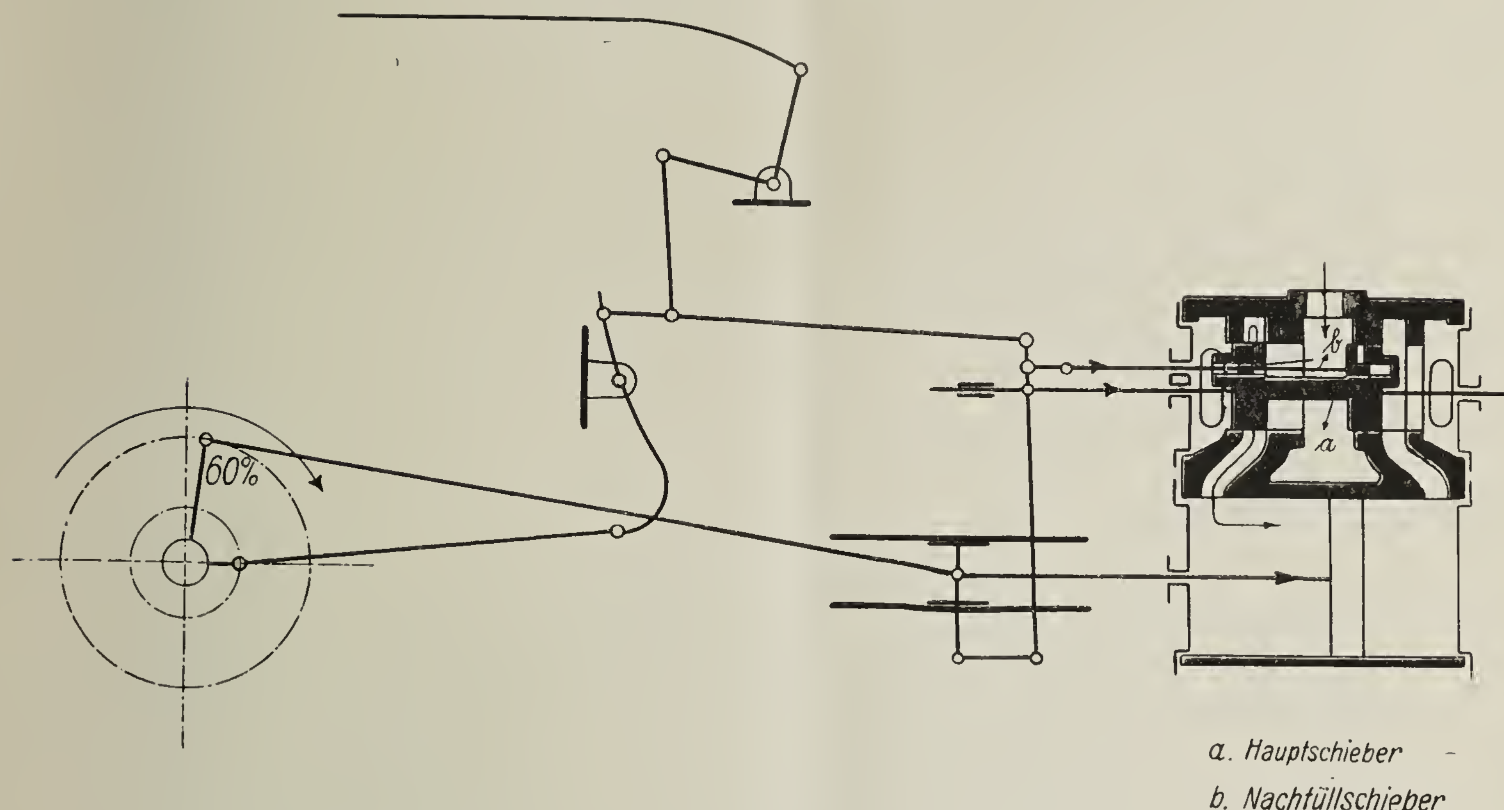


Abb. 6. Lindner-Steuerung mit Nachfüllschieber nach D. R. P. Nr. 177698 vom 21. Mai 1905.

In Abb. 6 ist für diese Kurbelstellung die Lindner-Steuerung schematisch wiedergegeben. Der Hauptschieber hat den Einlaßkanal bei etwa 60 vH Kolbenweg bereits geschlossen, während der Nachfüllschieber einen kleinen, im Hauptschieber befindlichen Anfahrkanal noch geöffnet hält. Die hierbei freigegebenen Einströmquerschnitte sind mit Absicht sehr klein gehalten, damit beim Anfahren der durchströmende Frischdampf soweit gedrosselt wird, daß während des gemeinsamen Anziehens beider Kolben das Anwachsen der Zugkräfte über die Reibungsgrenze tunlichst vermieden wird. Da der Nachfüllschieber seinen Antrieb ebenfalls von der Hauptsteuerung, und zwar von einem Punkte des Voreilhebels erhält, so wird auch in jeder Steuerungslage Nachfüllung erfolgen; diese ist jedoch nur bei Stillstand bezw. ganz langsamer Bewegung wirksam. In Fahrt sind die an sich schon sehr kleinen Anfahrkanäle im Hauptschieber nur so kurze Zeit geöffnet, daß meßbare Dampfmengen nicht nachströmen können und ein Einfluß auf die Dampfdehnung nicht nachweisbar wird. Während der Bewegung kommen daher auch nur 60 vH als größte Füllung in Frage, wobei indessen noch die Reibung voll ausnutzende Maschinenzugkräfte entwickelt werden (vergl. Zahlentafel 3, S. 15).

Die mit dieser Steuerung erreichte Dampfverteilung ist aus der in Zahlentafel 5 im Auszuge wiedergegebenen Steuerungsablehrung für die 2-C Vierlings-Heißdampf-Schnellzuglokomotive Gruppe XII H der Sächsischen Staatsbahn zu ersehen. Zum Vergleich sind die entsprechenden Angaben für eine Lokomotive derselben Gruppe, aber mit gewöhnlicher Steuerung für 75 vH Höchstfüllung gemacht. Besonders beachtenswert ist die Weite der Kanalöffnung für $\varepsilon = 30$ vH mit 9,5 mm gegenüber 8 mm bei der gewöhnlichen Steuerung, ent-

Zahlentafel 5.
Steuerungstafeln der 2-C Heißdampf-Vierlings-Schnellzuglokomotiven Gruppe XII H der Sächsischen Staatsbahn.
Vorwärtsgang.

		Lokomotive mit gewöhnlicher Steuerung			Lokomotive mit Lindner-Steuerung		
Füllungsgrad	vH	30	50	75	30	50	60
Schieberweg	mm	80¼	93¼	134½	99	115½	125½
lineares Voreilen	»	4	4	4	4	4	4
Füllung (mittlere) des Verteilungsschiebers	vH	30,0	49,9	74,8	30,0	50,0	58,0
» » » Nachfüllschiebers	»	—	—	—	66,3	74,4	81,0
größte mittlere Kanaleröffnung für Einströmung	mm	8,12	14,62	35,25	9,5	18,0	23,0
Mehreröffnung des Kanales in	vH	—	—	—	16,8	22,4	—
Vorausströmung (mittlere)	»	27,0	17,7	8,1	26,1	17,3	14,3
größte mittlere Kanaleröffnung für Ausströmung	mm	40	40	40	40	40	40
Verdichtung (mittlere)	vH	27,0	17,7	8,1	26,1	17,3	14,3

sprechend einem um 16,8 vH größeren Oeffnungsquerschnitt. Diese erheblich vergrößerten Einströmquerschnitte für die Fahrtfüllungen ergeben infolge Verminderung der Drosselverluste beachtenswerte Dampfersparnisse. Bei Vergleichsfahrten der Sächsischen Staatsbahn[1]), welche mit zwei bis auf die Lindner-Steuerung gleichen Lokomotiven vorgenommen wurden, konnten bei dieser Steuerung dieselben Leistungen schon mit um 5 vH kleinerer Füllung, d. h. mit entsprechend geringerem Dampfverbrauch für die Leistungseinheit erzielt werden.

Diese Sonderbauart der Steuerung nach Lindner hat sich im Betriebe der Sächsischen Staatsbahn so gut bewährt, daß dieselbe nicht nur in eine größere Zahl vorhandener Lokomotiven nachträglich eingebaut wurde, sondern es sollen auch die in Zukunft neu zu beschaffenden Zwillingslokomotiven damit ausgerüstet werden.

Die Nachfüllung der Zylinder mit Frischdampf kann auch durch die von Gölsdorf angegebenen Einkerbungen[2]) in die Einströmkante des Schiebers nach Abb. 7 vorgenommen werden, welche nach Einlaßschluß durch die eigentliche Schieberkante noch weiter eine kleine Oeffnung für Dampfeinströmung freigeben.

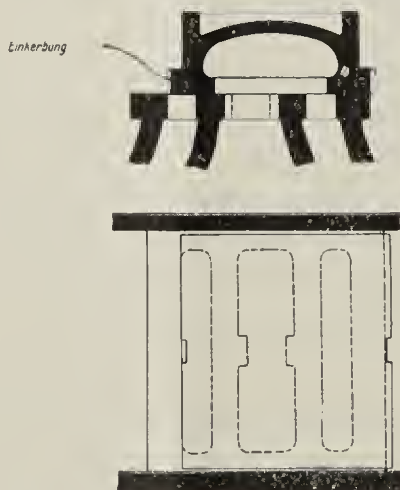


Abb. 7. Schieber mit Einkerbungen der Steuerkanten nach Gölsdorf.

[1]) Organ 1910 S. 326.
[2]) Annalen 1895 S. 106.

Diese Einkerbungen sind nichts anderes als eine Verkürzung der Einlaßdeckung; sie ergeben daher auch eine der kleineren Deckung entsprechende Vergrößerung der Füllungen. Der Schieberschluß wird zwar in jeder Steuerungslage um die Tiefe der Einkerbungen später erfolgen. Die Größe derselben ist mit 3 bis 4 cm^2 Einströmquerschnitt aber nur so groß bemessen, daß die Füllungsvergrößerung aus den gleichen Gründen wie bei der Lindner-Steuerung nur für das Anfahren, nicht aber in Fahrt wirksam wird. Zu beachten bleibt, daß an der Stelle der Einkerbungen die Voreinströmungen entsprechend zu früh erfolgen.

Die Gölsdorf-Anordnung läßt die Verbesserung der Anfahreigenschaften durch Vergrößerung der Füllungen mit so einfachen Mitteln erreichen, daß sie besonders für ausgeführte Lokomotiven mit zu geringer Höchstfüllung in Frage kommt. Bei den österreichischen Bahnen, den badischen u. a. m. hat man auch vielfach mit guten Erfolgen von diesen Einkerbungen Gebrauch gemacht, hauptsächlich zur Verbesserung des Anfahrens älterer Lokomotiven. Die Anwendung der Gölsdorf-Einkerbungen bei den Verbundlokomotiven wird späterhin besprochen werden[1]).

Eine Anfahrvorrichtung wird bei Zwillingslokomotiven auch in dem Falle erforderlich, wenn die K. V. eine größere ist als die übliche von 90°. Eine K. V. von etwa 95° kann nach einem Hinweis von Professor Obergethmann bei zweikurbeligen Lokomotiven in Frage kommen, weil man dadurch die ungünstige Wirkung der unausgeglichenen Massen mildern kann, bei einer allerdings etwas größeren Ungleichmäßigkeit der Dampftangentialkräfte. Bei mehr als 90° K. V. werden aber auch die Anfahrverhältnisse ungünstiger. Bei der D Lokomotive des Beispieles würde $Z_{a\,min}$ abnehmen von 4800 kg auf 4100 kg, entsprechend $c_{min} = 0{,}348$. Diese Verkleinerung von $Z_{a\,min}$ ist so groß, daß eine Verbesserung der Anfahrverhältnisse mittels einer einfachen Anfahrvorrichtung notwendig ist.

B) Die Anfahrverhältnisse der Dreizylinderlokomotiven mit einfacher Dampfdehnung (Drilling).

Dreizylinderlokomotiven mit einfacher Dehnung sind nur vereinzelt gebaut worden. Die bei dieser Lokomotivgattung übliche K. V. von je 120° ergibt aber bessere Anfahreigenschaften und gleichmäßigere Verteilung der Zugkräfte als bei den Zwillingslokomotiven. Die Untersuchungen darüber sind in derselben Weise wie vorher für eine bestimmte Lokomotive durchgeführt und zwar für die 1-C-1 Dreizylinder-Naßdampf-Tenderlokomotive Gruppe T_6 der Preußischen Staatsbahn[2]) (vergl. Zahlentafel 6 Nr. 1), welche im Jahre 1902 versuchsweise für Berliner Vorortstrecken beschafft wurde.

In Abb. 8 sind die Anfahrschaulinien für die 1-C-1 Dreizylinder-Tenderlokomotive der Preußischen Staatsbahn wiedergegeben. Schaulinie I der Anfahrzugkräfte zeigt, daß der kleinste Wert derselben, $Z_{a\,min}$, auftritt, wenn bei Einlaßabschluß »vor dem Kolben« (auf der Deckelseite) für einen Zylinder der für das Anfahren von der Stelle inbetracht kommende Zylinder Dampf »hinter dem Kolben« (auf der Kurbelseite) erhält. Infolge der K. V. von 120° findet dieser Zylinder für seine Kolbenkraft aber einen größeren Hebelarm als bei der Zwillingslokomotive mit rechtwinkliger K. V. Bei $\varepsilon_{max} = 75$ vH beträgt der ent-

---

[1]) Nach Angabe von Hrn. Prof. Obergethmann sind solche Einkerbungen an den Schiebern in der Eisenbahn-Hauptwerkstatt zu Nippes schon in den achtziger Jahren benutzt worden.

[2]) Z. d. V. d. I. 1904 S. 1479. Garbe, Zahlentafel II Nr. 13.

Zahlentafel 6.

Hauptabmessungen der 1-C-1 Dreizylinder-Naßdampf-Tenderlokomotive Gruppe T_6 der Preußischen Staatsbahn (Nr. 1) und der D-2 Dreizylinder-Naßdampf-Tenderlokomotive der Great-Central-Railway (Nr. 2).

	Nr. 1	Nr. 2
Zylinderdurchmesser $d =$	3×500 mm	$3 = 457$ mm
Kolbenhub $s = 2\,r =$	630 mm	660 mm
Treibraddurchmesser $D =$	1500 mm	1422 mm
Höchstfüllung (mittlere) $\varepsilon_{max} =$ . . .	75 vH	75 vH
Kesselüberdruck $p_k =$	12 at	14,1 at
Reibungsgewicht $G_r =$	52,3 t	68,0 t
1. Charakteristik $C_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{d^2 \cdot s}{D} =$ . .	1575,0	1454,0
2. Charakteristik $C_2 = \frac{C_1}{G_r} =$	30,1	21,4

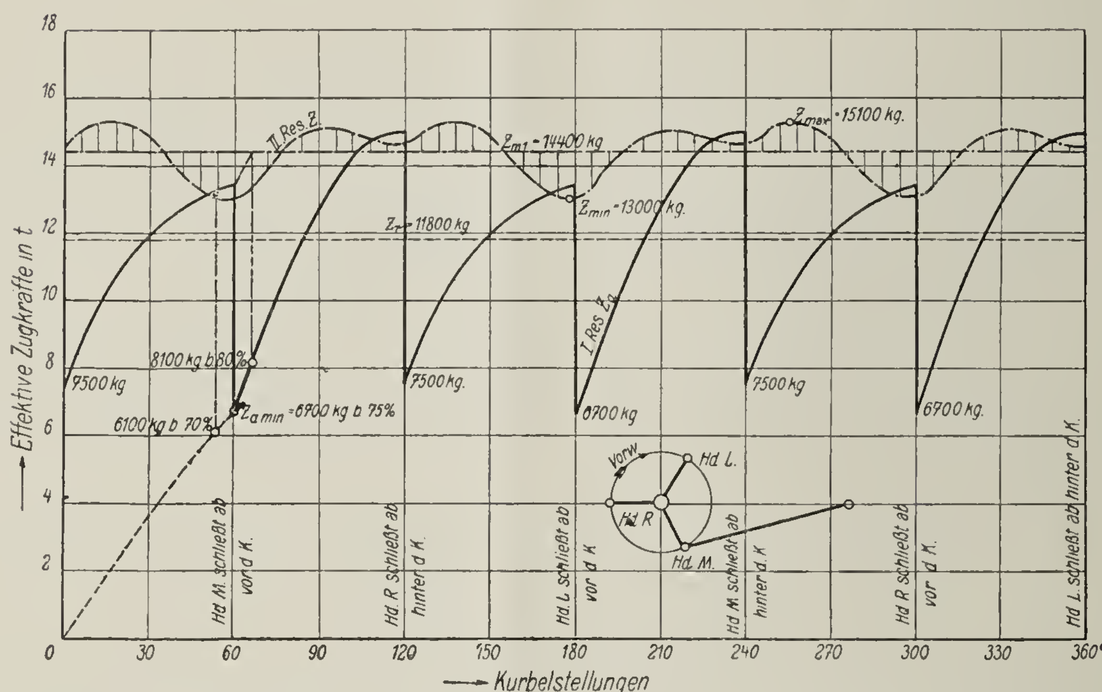


Abb. 8. Die Anziehkräfte am Treibradumfang der 1 C 1 Naßdampf-Dreizylinder-Tenderlokomotive Gruppe T_6 der Preußischen Staatsbahn.

$C_1 = 1575{,}0$, $C_2 = 30{,}1$, $p_k = 12$ at, $\varepsilon_{max} = 75$ vH, $\frac{r}{l} = \frac{1}{8}$.

sprechende Kurbelwinkel für letztere nur 30°, bei der Drillingslokomotive aber 60°. Es ergibt sich $Z_{a\,min}$ zu 6700 kg und infolge der günstigeren Kurbelstellung beim Schieberabschluß aus Gl. (3a) ein entsprechend größeres k_{min}; k_{min} wird nämlich 0,452 gegenüber 0,374 bei der Zwillingslokomotive (s. Zahlentafel 3, S. 15). Der Ausnutzungskoeffizient $c_{min} = \frac{Z_{a\,min}}{Z_r}$ erreicht den hohen Wert von 0,561. Dabei ist jedoch zu beachten, daß in diesem Falle die Zylinderabmessungen im Verhältnis zum Reibungsgewicht bei $C_2 = 30{,}1$ sehr hoch gewählt sind. Unter gewöhnlichen Verhältnissen werden so hohe Ausnutzungsziffern, wie noch gezeigt wird, nicht zu erwarten sein. Schaulinie II der Zugkräfte während der ersten Umdrehung nach der Anfahrt von der Stelle läßt eine erheblich gleichmäßigere Verteilung der Zugkräfte als bei der Zwillingslokomotive erkennen (vergl. Abb. 1). Die Schwankungen um den Mittelwert Z_{m1}

sind bedeutend geringer; die Verhältniswerte $\frac{Z_{max}}{Z_{m1}}$ und $\frac{Z_{min}}{Z_{m1}}$ ergeben sich nur zu 1,05 und 0,90 gegenüber 1,21 und 0,82 bei der Zwillingslokomotive; s. Zahlentafel 7.

Zahlentafel 7.

Schwankungen der größten Zugkräfte der Zwei-, Drei- und Vierzylinderlokomotiven mit einfacher Dampfdehnung bei $\varepsilon_{max} = 75$ vH.

Lokomotivgattung	Z_{m1} kg	Z_{max} kg	Z_{min} kg	$\frac{Z_{max}}{Z_{m1}}$	$\frac{Z_{min}}{Z_{m1}}$
Zwillingslokomotive	12 600	15 300	10 300	1,21	0,82
Drillingslokomotive	14 400	15 100	13 000	1,05	0,90
Vierlingslokomotive	10 750	12 150	8 900	1,13	0,83

Der Mittelwert $Z_{m1} = 14400$ kg liegt infolge des sehr großen C_2 aber so hoch, daß die Reibungsgrenze mit $c_{m1} = \frac{Z_{m1}}{Z_r} = 1,22$ erheblich überschritten wird. Zum Vergleich sind daher noch die entsprechenden Werte für $Z_{a\,min}$ und Z_{m1} der D-2 Dreizylinder-Tenderlokomotive der englischen Great-Central-Railway[1]) mit $C_2 = 21,4$ nachgerechnet und ebenfalls in Zahlentafel 3 Nr. 2 eingetragen. Z_{m1} bewegt sich mit $c_{m1} = 1,0$ bis 1,042 gerade an der Reibungsgrenze wie bei der Zwillingslokomotive; die Ausnutzungsziffern für $Z_{a\,min}$ aber weisen mit $c_{min} = 0,431$ bis 0,575 durchweg um 7 bis 8 vH günstigere Werte auf als bei der Zwillingslokomotive.

Vergleicht man die kleinste Anfahrzugkraft einer Drillingslokomotive mit der einer Zwillingslokomotive von gleichem Zylindervolumen, also gleichem C_1, so findet man, daß die der Preußischen Dreizylinder-Tenderlokomotive T_6 entsprechende Zwillingslokomotive ($d = 612$ mm) bei $\varepsilon_{max} = 75$ vH nur ein $Z_{a\,min}$ von 5500 kg (gegen 6700 kg) entwickeln würde. Dieser Wert von $Z_{a\,min}$ wäre bei der Drillingslokomotive aber bereits bei etwa 66 vH Füllung zu erreichen (vergl. Abb. 3). Will man sich bei einer Drillingslokomotive mit den gleichen Anfahreigenschaften wie bei einer Zwillingslokomotive begnügen, so kann man bei ersterer die Höchstfüllung auf den angegebenen Wert herabsetzen zugunsten der Kanaleröffnungen bei den meist gebrauchten kleinen Füllungen (vergl. S. 17).

Die Dreizylinderlokomotiven Gruppe T_6 der Preußischen Staatsbahn haben sich aber im Betriebe nicht bewährt; der Grund dafür liegt allein in dem Mißverhältnis der ganzen Abmessungen zueinander. Weitere Versuche mit Dreizylinderlokomotiven sind erst im vergangenen Jahre gemacht worden und zwar mit guten Erfolgen mit einer 1-D-1 Heißdampf-Tenderlokomotive für Verkehr auf Stadtbahnen von Henschel & Sohn, Cassel. Zur Zeit hat die Preußische Staatsbahn 6 Stück 2-C Dreizylinder-Heißdampf-Schnellzuglokomotiven im Bau[2]); drei davon sind Gleichstrom-Lokomotiven der Bauart Stumpf.

C) Die Anfahrverhältnisse der Vierzylinderlokomotiven mit einfacher Dampfdehnung (Vierling).

Vierzylinderlokomotiven mit einfacher Dampfdehnung sind, so lange nur Naßdampf in Frage kam, ebenfalls nur ganz vereinzelt gebaut worden. Ihre Anwendung (als schnellfahrende Lokomotiven) hat erst seit Einführung des

[1]) Z. d. V. d. I. 1908 S. 1097.

[2]) In Vorbereitung ist außerdem eine 1-E Heißdampf-Dreizylinder-Güterzuglokomotive.

Heißdampfes stark zugenommen, da Heißdampf nicht in demselben Maße zweifache Dehnung verlangt wie Naßdampf.

Die Ausführung der Vierlingslokomotiven erfolgt gewöhnlich mit vier gleichen Zylindern; die Untersuchungen sollen darauf beschränkt bleiben. Als Beispiel ist gewählt die 2-C Vierlings-Heißdampf-Schnellzuglokomotive Gruppe $S_{10\,Zw}$ der Preußischen Staatsbahn; siehe Zahlentafel 8 [1]).

Zahlentafel 8.
Hauptabmessungen der 2-C Vierlings-Heißdampf-Schnellzuglokomotiven Gruppe $S_{10\,Zw}$ der Preußischen Staatsbahn.

Zylinderdurchmesser $d =$	4×430 mm
Kolbenhub $s = 2\,r =$	630 mm
Treibraddurchmesser $D =$	1980 mm
Höchstfüllung (mittlere) $\varepsilon_{max} =$ . . .	75 vH
Kesselüberdruck $p_k =$	12 at
Reibungsgewicht $G_r =$	50,5 t
1. Charakteristik $C_1 = 2 \cdot \frac{d^2 \cdot s}{D} =$ . .	1176,6
2. Charakteristik $C_2 = \frac{C_1}{G_r} =$ . . .	23,3

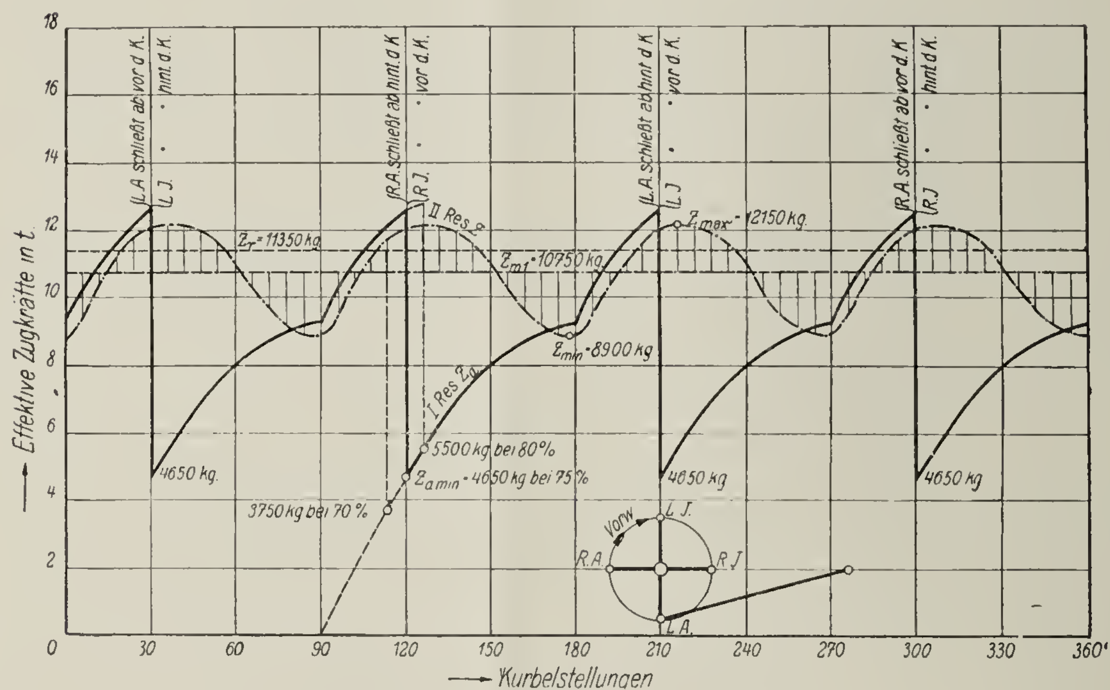


Abb. 9. Die Anziehkräfte am Treibradumfang der 2 C Heißdampf-Vierzylinder-Schnellzuglokomotive Gruppe $S_{10\,Zw}$ der Preußischen Staatsbahn

$C_1 = 1176{,}6, \qquad C_2 = 23{,}3, \qquad p_k = 12$ at, $\qquad \varepsilon_{max} = 75$ vH, $\qquad \frac{r}{l} = \frac{1}{6}$.

Bei der für Vierzylinderlokomotiven gebräuchlichen K. V. von je 90°, wobei die Zylinder jeder Maschinenseite unter 180° gegeneinander arbeiten, zeigt die Vierlingslokomotive im wesentlichen die gleichen Anfahreigenschaften wie die Zwillingslokomotive. Die Schaulinien der Abb. 9 haben im allgemeinen den gleichen Verlauf, und es ergeben sich auch für Zahlentafel 3 Nr. 3 etwa dieselben Werte für die Koeffizienten und Verhältniszahlen. Aus Schaulinie I erhält man jedoch für $Z_{a\,min}$ einen etwas günstigeren Wert, weil infolge des Zusammenarbeitens der zwei um 180° gegeneinander versetzten Zylinder einer Maschinenseite der ungünstige Einfluß der endlichen Länge der Treibstangen

[1]) Die Lokomotive 1912 S. 62. Hammer S. 34.

ausgeglichen wird. Bei $\varepsilon_{max} = 75$ vH wird $Z_{a\,min} = 4650$ kg mit $c_{min} = 0{,}41$. Eine Zwillingslokomotive mit gleichen Zylindervolumen ($d = 2 \times 608$ mm) hätte nur ergeben $Z_{a\,min} = 4400$ kg mit $c_{min} = 0{,}388$.

Schaulinie II mit $Z_{m1} = 10750$ kg als Mittelwert zeigt einen nur wenig gleichmäßigeren Verlauf als bei der Zwillingslokomotive; die Verhältniswerte $\frac{Z_{max}}{Z_{m1}}$ und $\frac{Z_{min}}{Z_{m1}}$ ergeben sich zu 1,13 und 0,83 gegen 1,21 und 0,82 bei letzterer (s. Zahlentafel 7, S. 23). Die Ausnutzungsziffer für Z_{m1} ist mit $c_{m1} = 0{,}947$ verhältnismäßig gering; ein Zeichen, daß die Zylinderabmessungen zugunsten sicheren Anfahrens vielleicht etwas größer sein könnten.

II. Die Anfahrverhältnisse der Lokomotiven mit zweifacher Dampfdehnung.

Unter den Lokomotiven mit zweifacher Dampfdehnung sind nach der Zahl der Zylinder folgende 3 Hauptgruppen zu unterscheiden; solche

a) mit zwei Zylindern (1 H.-D. und 1 N.-D.),
b) » vier » (2 » » 2 »),
c) » drei » (1 » » 2 »).

a) Die Zweizylinder-Verbundlokomotiven haben auf der einen (gewöhnlich der rechten) Maschinenseite den Hochdruck- und auf der anderen Seite den Niederdruckzylinder; ihre Triebwerke arbeiten stets mit 90° K. V. wie bei den Zwillingslokomotiven.

b) Bei den Vierzylinder-Verbundlokomotiven liegt im allgemeinen auf jeder Maschinenseite ein Paar zusammengehöriger Hoch- und Niederdruckzylinder. Nach der Anordnung der beiden Zylinder einer Seite zueinander sind folgende Bauarten zu unterscheiden:

1) Die Tandem-, Zweikurbelbauart von Vauclain [1], mit über- oder hintereinander gelagerten Hoch- und Niederdruckzylindern, deren beide Kolben auf denselben Kreuzkopf arbeiten, also um 0° gegeneinander versetzt sind; die Triebwerke der beiden Maschinenseiten weisen rechtwinklige K. V. auf.

2) Die normale Vierkurbelbauart an zwei (de Glehn) [2] oder einer Treibachse (v. Borries) [3], wobei alle vier Kurbeln unter 90° versetzt sind und je ein Hoch- und Niederdruckzylinder, auf einer Maschinenseite liegend, mit gegenläufigen Kolben arbeiten. Nur die Italienische Staatsbahn als einzige Ausnahme bevorzugt die Bauart Plancher [4], welche die beiden Hochdruckzylinder unter 180° auf die eine und, um 90° dagegen versetzt, die beiden Niederdruckzylinder in gleicher Weise auf die andere Maschinenseite legt.

3) Eine Sondergruppe bilden die Lokomotiven mit Dampftriebgestellen der Bauarten Meyer und Mallet [5]) mit zwei getrennten Triebwerksgruppen, von denen die eine die beiden Hochdruckzylinder, die andere die beiden Niederdruckzylinder enthält. Die beiden Hochdruck- und die beiden Niederdruckzylinder unter sich arbeiten mit der gewöhnlichen K. V. von 90°; eine bestimmte feste K. V. der beiden Zylindergruppen gegeneinander ist nicht vorhanden.

---

[1]) Z. d V. d. I. 1894 S. 318. E. T. d. G. 2. Aufl S. 388.
[2]) E T d. G. 2. Aufl. S. 389. Garbe, S. 97.
[3]) E. T. d. G. 2. Aufl. S. 390. Garbe, S. 97.
[4]) Die Lokomotive 1909 S. 10
[5]) E. T. d. G. 2. Aufl., Tafel V. Garbe, S. 89.

Die Gestaltung der Anfahrverhältnisse der Vierzylinder-Verbundlokomotiven ist im allgemeinen abhängig von der K. V. zwischen den beiden Hochdruckzylindern, welche überall zu 90° gewählt ist. Die bereits erwähnte Bauart Plancher mit gegenläufigen Hochdruckzylindern gibt bei dieser K. V. den Vorteil des Anfahrens mit zwei um 90° gegeneinander versetzten Hochdruckzylindern aus der Hand. Lokomotiven mit Plancher-Zylindern werden sich in bezug auf das Anfahren genau so verhalten wie eine Zweizylinder-Verbundlokomotive.

c) Die Dreizylinder-Verbundlokomotiven haben in der Regel einen zwischen den Rahmen liegenden Hochdruck- und zwei außenliegende Niederdruckzylinder, deren Kurbeln in verschiedener Weise zueinander angeordnet werden:

1) Alle 3 Kurbeln sind um je 120° gegeneinander versetzt (Schweizer Bundesbahnen); es ist dies die meist gebräuchliche Bauart[1]).

2) Die beiden Niederdruckkurbeln stehen rechtwinklig zueinander, die Hochdruckkurbel fällt in Richtung der Winkelhalbierenden, bildet also mit jeder Niederdruckkurbel einen Winkel von 135° (Italienische Staatsbahn)[2]).

3) Die beiden Niederdruckkurbeln sind gleichgerichtet, die Hochdruckkurbel steht rechtwinklig dazu (2-B-2 Schnellzuglokomotive der Preußischen Staatsbahn, Bauart Wittfeld)[3]).

Diese verschiedene Anordnung der Kurbeln zueinander wird, da nur ein Hochdruckzylinder vorhanden ist, die Gestaltung der Anfahrvorgänge auch entsprechend verschiedenartig beeinflussen.

A) Die Anfahrverhältnisse der Zweizylinder-Verbundlokomotiven.

a) Die Anfahrvorgänge.

Die Untersuchungen über die Anfahrverhältnisse der Zweizylinder-Verbundlokomotiven sind vorgenommen an der D Naßdampf-Verbund-Güterzuglokomotive Gruppe $G_{7\,Verb}$ der Preußischen Staatsbahn[4]). Die in Betracht kommenden Abmessungen enthält Zahlentafel 9. Die Zylinderabmessungen sind jedoch zu $d_h = 520$ mm und $d_n = 735$ mm angenommen (Zylinderraumverhältnis $n = 1:2$), um unmittelbare Vergleiche anstellen zu können mit der schon besprochenen D Naßdampf-Zwillings-Güterzuglokomotive Gruppe $G_{7\,Zw}$ der Preußischen Staatsbahn (s. Zahlentafel 1). Für beide Lokomotivgattungen erhält die 1. Zugkraftcharakteristik dann bei gleichen Zylindervolumen den gleichen Wert von $C_1 = 1362{,}0$. Die für die Verbundlokomotive wirklich ausgeführten Zylinderabmessungen $d_h = 530$ mm und $d_n = 750$ mm ($n = 1:2$) ergeben $C_1 = 1417{,}5$.

Bei Anwendung der Verbundwirkung erhält Frischdampf unmittelbar nur der Hochdruckzylinder. Nimmt der Schieber desselben eine solche Stellung ein, daß er beide Kanäle seines Zylinders für Einströmung bedeckt hält, so kann überhaupt keine Zuströmung von Frischdampf zu den Zylindern erfolgen, also auch keine Kraftwirkung stattfinden; es würde sich dabei die in Abb. 10

---

[1]) Z. d. V. d. I. 1908 S. 1964. Serie A $^3/_5$ der Schweizer Bundesbahnen. Die Lokomotive 1908 S. 6. Serie 1 d der Außig-Teplitzer-Eisenbahn. Die Lokomotive 1907 S. 88. Serie B $^3/_4$ der Schweizer Bundesbahnen.

[2]) Z. d. V. d. I. 1904 S. 1977. 2-C-2 3-Zylinder-Verbund-Tenderlokomotiven der Italienischen Staatsbahn.

[3]) Z. d. V. d. I. 1904 S. 327.

[4]) E. T. d. G. 2. Aufl. S. 34. Die Lokomotive 1910 S. 84. Garbe, Zahlentafel II Nr. 16.

Zahlentafel 9.
Hauptabmessungen der D Naßdampf-Zweizylinderverbund-Güterzuglokomotive Gruppe $G_{7\,Verb}$ der Preußischen Staatsbahn.

	angenommene Abmessungen	ausgeführte Abmessungen
Durchmesser des Hochdruckzylinders $d_h =$	520 mm	530 mm
Durchmesser des Niederdruckzylinders $d_n =$	735 mm	750 mm
Kolbenhub $s = 2\,r =$	630 mm	630 mm
Zylinderraumverhältnis $n =$	1 : 2	1 : 2
Verbinderinhalt $V_v =$	$2{,}0 \times V_h$	$2{,}0 \times V_h$
Treibraddurchmesser $D =$	1250 mm	1250 mm
Verhaltnis $\frac{r}{l} =$	$\frac{1}{8{,}81}$	$\frac{1}{8{,}81}$
Höchstfüllung (mittlere) des Hochdruckzylinders $\varepsilon_{max\,h} =$ . .	75 vH	75 vH
Höchstfüllung (mittlere) des Niederdruckzylinders $\varepsilon_{max\,n} =$ . .	80 vH	80 vH
Kesselüberdruck $p_k =$	12 at	12 at
Reibungsgewicht $G_r =$	52,3 t	52,3 t
1. Charakteristik $C_1 = {}^1/_2 \cdot \frac{d_n^2 \cdot s}{D} =$	1362,0	1417,5
2. Charakteristik $C_2 = \frac{C_1}{G_r} =$	26,0	27,1

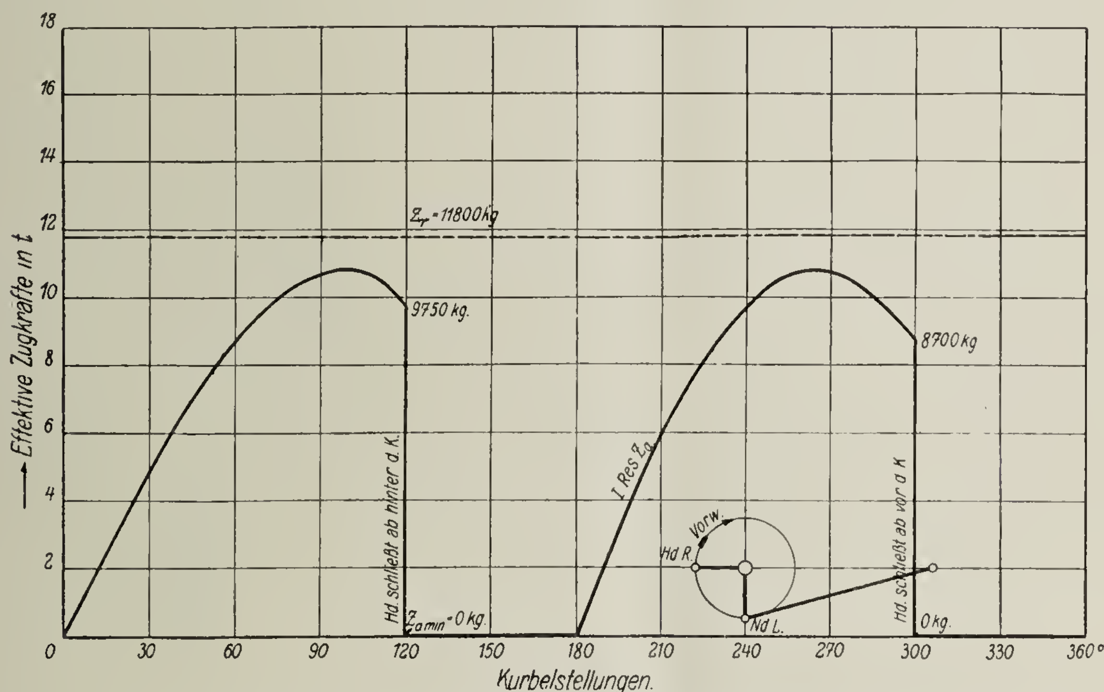


Abb. 10. Die Anziehkräfte am Treibradumfang der D Naßdampf-Zweizylinder-Verbund-Güterzuglokomotive Gruppe $G_{7\,Verb}$ der Preußischer Staatsbahn.

$C_1 = 1362{,}0, \quad C_2 = 26{,}0, \quad p_k = 12$ at, $\quad \varepsilon_{max} = 75/80$ vH, $\quad \frac{r}{l} = \frac{1}{8{,}81}$.

verzeichnete Schaulinie der Anfahrzugkräfte ergeben. Man ersieht daraus, daß jedesmal vom Füllungsschluß des Hochdruckzylinders (hinter bezw. vor dem Kolben) bis zu den folgenden Totpunkten überhaupt keine Anfahrzugkraft erzeugt wird; es ist $Z_{a\,min} = 0$. In den nach den Totpunkten folgenden Kurbelstellungen ist Z_a zu gering; je nach der Größe des Anfahrwiderstandes muß die anziehende Kurbel erst um etwa 20 bis 30° über den Totpunkt hinaus sein, damit Anfahrzugkräfte von 0,4 bis 0,5 Z_r verfügbar werden. Aus etwa der Hälfte aller möglichen Kurbelstellungen kann demnach die Zweizylinder-Verbundlokomotive ohne Hilfsmittel überhaupt nicht anfahren; sie bedarf vielmehr in jedem Falle einer »Anfahrvorrichtung«.

In denjenigen Kurbelstellungen, aus welchen der Hochdruckzylinder nicht anziehen kann, muß die Einleitung der Bewegung durch den Niederdruckzylinder erfolgen. Infolge der K. V. von 90° befindet sich seine Kurbel dabei in günstigen Stellungen; der fehlende Arbeitsdampf muß dem Niederdruckzylinder jedoch unter Umgehung des regelmäßigen Weges durch den Hochdruckzylinder besonders zugeführt werden, und zwar in den Schieberkasten bezw. Verbinder. Alle ausgeführten Anfahrvorrichtungen machen in ihrer Grundlage von dieser »hilfsweisen« Zuführung von Frischdampf in den Verbinder Gebrauch.

Beschränkt man sich auf die Zuführung von Hilfsdampf allein, so schließt die Anwendung dieses einfachsten Hilfsmittels einen schwerwiegenden Mangel in sich ein, welchen die Betrachtung der Schaulinie I der Anfahrzugkräfte in Abb. 11 sogleich erkennen läßt. Während der Kurbelstellungen der Dehnungsperioden des Hochdruckzylinders strömt der Hilfsdampf vom Verbinder nicht nur zur Treibseite des Niederdruckkolbens, sondern durch die zum Verbinder hin geöffnete Ausströmung auch zur Gegenseite des Hochdruckkolbens und sucht hier die Maschine im entgegengesetzten Sinne zu drehen wie auf der Niederdruckseite. Die in diesen Kurbelstellungen resultierenden Anfahrzugkräfte werden dadurch derart verkleinert, daß das Anfahren aus diesen unmöglich ist. In der ungünstigsten Kurbelstellung, beim Abschluß des Hochdruckzylinders »hinter« dem Kolben, beträgt $Z_{a\,min}$ überhaupt nur 50 kg.

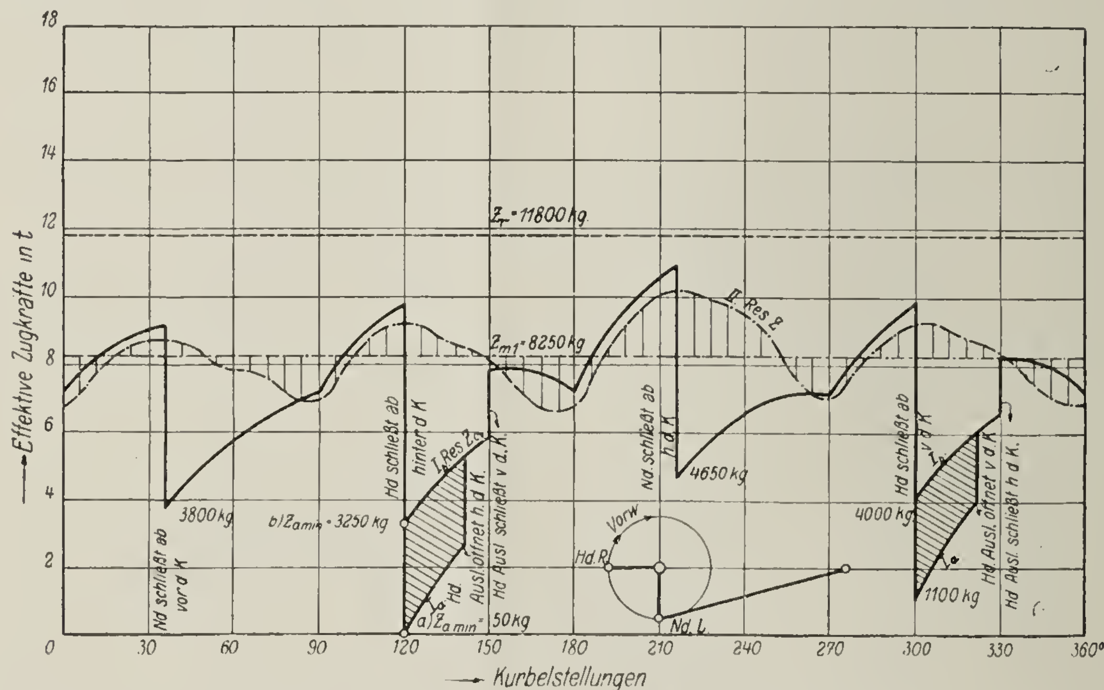


Abb. 11. Die Anziehkräfte am Treibradumfang der $G_{7\,Verb.}$ Anfahren mit Hilfsdampf ($p_h = 4$ at) zum Verbiuder a) ohne Druckausgleich am Hochdruckkolben (v. Borries), b) mit Druckausgleich am Hochdruckkolben (Lindner I'.

Das Zurückfließen des Verbinderdampfes zum Hochdruckzylinder während der Dehnungsperioden muß daher unschädlich gemacht werden; in den betreffenden Kurbelstellungen ist die Verbinderspannung auf beide Hochdruckkolbenseiten zur Wirkung zu bringen. Der dadurch erfolgende Spannungsausgleich wird das rückwärts drehende Moment zum Verschwinden bringen, der Hochdruckkolben läuft in diesen Kurbelstellungen nur leer mit; die durch den Druckausgleich erreichte Vergrößerung der Anfahrzugkräfte ist in Abb. 11 durch die schraffierten Flächen gekennzeichnet. $Z_{a\,min}$ wächst auf 3250 kg, was jedoch nur einer Ausnutzung von $c_{min} = 0{,}28$ der Reibungszugkraft Z_r von 11 800 kg entspricht.

Schaulinie II in Abb. 11 für den Verlauf der Zugkräfte während der ersten Umdrehung nach dem Anfahren von der Stelle ergibt für den Mittelwert $Z_{m1} = 8250$ kg als größte mittlere Verbundzugkraft. Die Ausnutzung von Z_r durch Z_{m1} beträgt nur $e_{m1} = 0{,}70$. Beide Werte $Z_{a\,min}$ und Z_{m1} sind nach den aufgestellten Bedingungen (s. S. 13) als zu klein anzusehen; sie erreichen die gleichartige Zwillingslokomotive auch nur zu 70 vH bezw. 66 vH; s. Zahlentafel 10 über die Anziehkräfte der Zweizylinder-Verbundlokomotiven S. 34/35.

Für den in den Verbinder geleiteten Hilfsdampf ist, entsprechend der größeren Kolbenfläche des Niederdruckzylinders, eine Verminderung der Spannung auf $p_h = 4$ at vorausgesetzt. Eine Spannungsverminderung ist notwendig, um einer Ueberlastung des Niederdrucktriebwerkes vorzubeugen. Will man eine für beide Maschinenseiten gleichmäßige Kräfteverteilung erhalten, so muß die Spannung vermindert werden auf $p_k \cdot \frac{1}{n' + 1}$; hierin ist $n' = \frac{\left(d_n^2 \cdot \frac{\pi}{4}\right)}{\left(d_h^2 \cdot \frac{\pi}{4}\right)}$ (= Verhältnis der Kolbenflächen). Bei $p_k = 12$ at und $n' = 2$ muß die Spannung also auf 4 at herabgesetzt werden. In diesem Falle werden die Anteile des Hochdruck- und Niederdruckzylinders an der Gesamtzugkraft, abgesehen von dem Einfluß der größeren Niederdruckfüllung, gleich groß; vergl. Zahlentafel 10 Nr. 3 S. 34/35. Für das Anfahren kommt es indessen auf diese Gleichheit nicht so sehr an. Würde man aber die Spannung des Hilfsdampfes direkt nach dem Verhältnis der Kolbenflächen auf $p_k \cdot \frac{1}{n'}$ ermäßigen, so würden sich für die Zugkräfte beider Maschinenseiten so große Unterschiede ergeben (s. Zahlentafel 10 Nr. 5), daß starkes Rucken während des Anziehens unvermeidlich wird. Der Mittelwert der Gesamtzugkraft Z_{m1} beträgt dabei aber 9250 kg gegen 8250 kg infolge der erheblich gesteigerten Anteilnahme des Niederdruckzylinders. Vielfach wird daher, um während des Anfahrens eine größere Gesamtzugkraft ausüben zu können, die Spannung des Hilfsdampfes nicht bis auf $p_k \cdot \frac{1}{n' + 1}$ herabgesetzt, sondern z. B. bei $p_k = 12$ at auf 5 at (Zahlentafel 10 Nr. 4). Die hierbei sich ergebende Verschiedenheit von etwa 19 vH in der Größe der Anteile beider Zylinder an der Gesamtzugkraft bleibt erfahrungsgemäß noch in zulässigen Grenzen.

Der Druckausgleich für den Hochdruckkolben beseitigt zwar das Hauptübel, das negative Drehmoment desselben; bestehen bleibt der Nachteil, daß der Hilfsdampf jederzeit in den Verbinder strömen kann, also auch dann, wenn der Niederdruckschieber die Kanäle seines Zylinders für Einströmung bedeckt hält und der Hochdruckzylinder allein anziehen muß. Der Hilfsdampf kommt dann überhaupt nicht als helfend, sondern nur als Gegendruck für den Hochdruckkolben zur Geltung. Wird aber die Hilfsdampfzuführung zum Verbinder jedesmal für die betreffenden Kurbelstellungen (vom Füllungsschluß des Niederdruckzylinders bis zum folgenden Totpunkt) unterbrochen, so kann der Hochdruckzylinder aus diesen mit voller Kesselspannung als Nutzdruck anziehen. Aus den übrigen Kurbelstellungen erfolgt das Anfahren wie vorher mit Frischdampf zum Verbinder mit beiden Zylindern gemeinsam oder mit dem Niederdruckzylinder allein (vom Füllungsschluß des Hochdruckzylinders bis zum folgenden Totpunkt). Die Zuführung des Hilfsdampfes erfolgt unter dem Einfluß zwangläufiger Steuerung. Läßt diese den Hilfsdampf zu denselben Zeiten in den Verbinder strömen, wie die Einströmkanäle des Niederdruckzylinders öffnen

und schließen, so ergibt sich die in Abb. 12, Linie *a* verzeichnete Schaulinie der Anfahrzugkräfte. Bei $p_k = 5$ at wird für die ungünstigste Kurbelstellung (Füllungsschluß des Hochdruckzylinders hinter dem Kolben) $Z_{a\,min} = 4050$ kg. Die für $Z_{a\,min}$ erreichte Vergrößerung ist aber gering, es beträgt c_{min} nur 0,34. Eine erhebliche Vergrößerung der Anfahrzugkräfte wird nur für die Kurbelstellungen vom Füllungsschluß des Niederdruckzylinders bis zu den folgenden Totpunkten erhalten; vergl. Abb. 12, Linie *a* gegen Abb. 11.

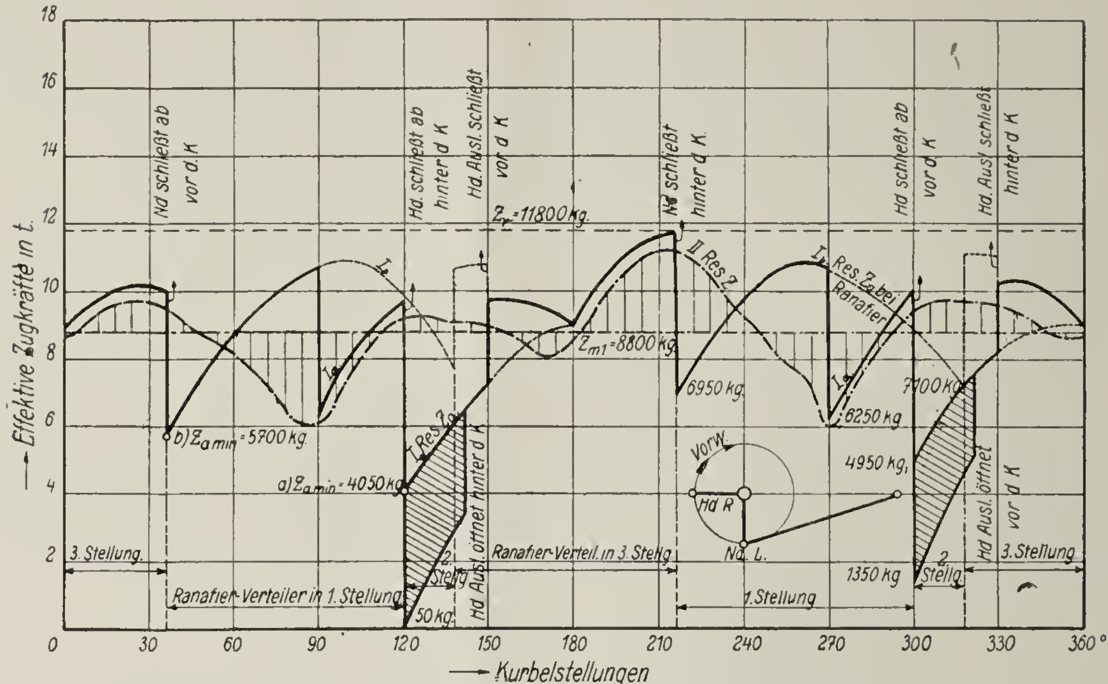


Abb. 12. Die Anziehkräfte am Treibradumfang der $G_{7\,Verb.}$ Anfahren mit Hilfsdampf ($p_h = 5$ at) zum Verbinder bei zwangläufiger Steuerung für ersteren nach a) Lindner II, b) Ranafier, (Lindner III).

Eine durchgreifende Verbesserung wird erreicht, wenn die Zuführung von Hilfsdampf nicht auf den Verbinder für den Niederdruckzylinder beschränkt wird, sondern auch für den Hochdruckzylinder erfolgt, indem diesem nach dem eigentlichen Schieberabschluß noch weiter Frischdampf besonders zugeführt wird. Dadurch wird für den Hochdruckzylinder durch Nachfüllung eine Vergrößerung der Füllung bis zur Vorausströmung bewirkt mit den bereits bei den Zwillingslokomotiven hervorgehobenen günstigen Wirkungen. Die Zuführung von Hilfsdampf zum Verbinder erfolgt nur in denjenigen Kurbelstellungen, aus welchen der Hochdruckzylinder (infolge ungünstiger Kurbelwinkel) nicht anziehen kann. Die dabei erhaltenen Anfahrzugkräfte für das Anfahren von der Stelle, s. Abb 12, Linie *b*, reichen in jedem Falle aus. Selbst in der ungünstigsten Kurbelstellung, beim Füllungsschluß des Niederdruckzylinders, ergibt sich $Z_{a\,min}$ zu 5700 kg mit einer Ausnutzung der Reibungszugkraft von $c_{min} = 0{,}48$; ein Wert, der 19 vH größer ist als bei der gleichartigen Zwillingslokomotive. Die größte mittlere Zugkraft Z_{m1} aus Schaulinie II erreicht jedoch nur einen Wert von 8800 kg mit $c_{m1} = 0{,}75$, welches um mehr als 25 vH hinter der gleichartigen Zwillingslokomotive zurückbleibt.

Aehnlich günstige Ergebnisse für die Anfahrzugkräfte werden erhalten, wenn die Höchstfüllungen für beide Zylinder von vornherein möglichst groß gewählt werden und zwar bis über 90 vH. Bei Steuerungen mit so großen Höchstfüllungen sind jedoch die bereits bei den Zwillingslokomotiven besprochenen Nachteile zu beachten, daß man für die Fahrtfüllungen nur verhältnis-

mäßig kleine Kanaleröffnungen erhält (vergl. S. 17 ff.). Die stark vergrößerten Höchstfüllungen verkürzen die Dehnungsperioden derart, daß die durch den Hilfsdampf für den Niederdruckzylinder entstehenden rückwärtsdrehenden Momente der Hochdruckseite auf wenige Kurbelstellungen beschränkt werden; s. Abb. 13. In der ungünstigsten Kurbelstellung, bei Füllungsschluß für den Hochdruckzylinder hinter dem Kolben, setzen jene die kleinste Anfahrzugkraft $Z_{a\,min}$ immer noch herab auf 4500 kg mit $c_{min} = 0{,}38$, womit die Zwillingslokomotive jedoch bereits zu 94 vH erreicht wird (Zahlentafel 10 Nr. 8). Die größte mittlere Zugkraft Z_{m1} erfährt infolge der vergrößerten Höchstfüllungen eine geringe Zunahme auf 9200 kg, womit aber auch nur eine Ausnutzung der Reibungszugkraft von $c_{m1} = 0{,}78$ sich ergibt.

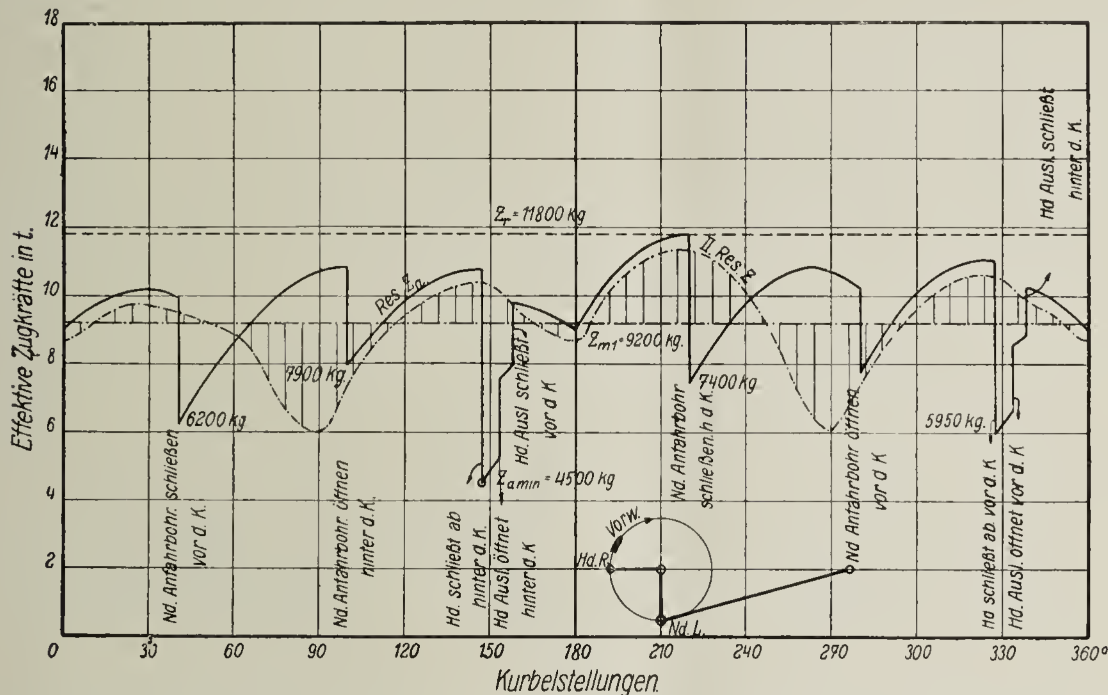


Abb. 13. Die Anziehkräfte am Treibradumfang der $G_{7\,Verb.}$ Anfahren mit gesteuertem Hilfsdampf ($p_h = 5$ at) zum Verbinder bei großen Füllungen (91/91 vH) nach Gölsdorf.

Die eben besprochenen Hilfsmittel für das Anfahren gehen von dem Grundsatz aus, den Frischdampf für den Niederdruckzylinder nicht dauernd in den Verbinder strömen zu lassen, sondern jeweilig nur dann, wenn die Einströmkanäle des ersteren geöffnet sind. Sie bewirken dadurch eine Beseitigung des Gegendruckes auf den Hochdruckkolben durch die Verbinderspannung nur in den Kurbelstellungen, für welche die Frischdampfzuführung zum Verbinder unterbrochen ist. Soll das Zurückfließen des Verbinderdampfes zum Hochdruckzylinder von vornherein für alle Kurbelstellungen ausgeschlossen sein, so muß im Verbinder eine Abschlußvorrichtung angeordnet werden, welche eine Trennung zwischen Hoch- und Niederdruckzylinder bewirkt. Für das Anfahren von der Stelle ergeben sich dann nach Abb. 14 die gleichen Anfahrverhältnisse wie bei der Zwillingslokomotive, abgesehen von dem Einfluß der größeren Niederdruckfüllung. Auf den Hochdruckkolben wird nämlich der volle Kesseldruck zur Wirkung gebracht, auf den Niederdruckkolben ein direkt nach dem Verhältnis der Kolbenflächen verringerter Dampfdruck. Auch die größte mittlere Zugkraft Z_{m1} ist, für das erste Arbeitsspiel wenigstens, gleich derjenigen der gleichartigen Zwillingslokomotive. Beide Kolben arbeiten zunächst gegendruckfrei, und zwar bis zum ersten Auspuff der Hochdruckseite, welcher in den vom Niederdruckzylinder abgesperrten Teil des Verbinders erfolgen muß. Von diesem Zeitpunkt ab wächst die Spannung in letzterem, d. h. der Gegendruck

auf den Hochdruckkolben, durch die folgenden Auspüffe des Hochdruckzylinders allmählich soweit, daß diese Spannung den Arbeitsdruck des Hilfsdampfes für den Niederdruckzylinder erreicht bezw. übersteigt. Erstere wird dazu benutzt, die regelrechte Verbindung zwischen beiden Zylindern wieder herzustellen und (in der Regel) die Zuführung des Frischdampfes abzusperren, sodaß danach mit normaler Verbundwirkung gearbeitet wird. Der Zeitpunkt dieser Umschaltung ist abhängig von der Größe des vom Niederdruckzylinder abgesperrten und dem Hochdruckzylinder für seinen Abdampf zur Verfügung stehenden Verbinderraumes. Die Umschaltung erfolgt um so später, je größer der Inhalt dieses Raumes im Vergleich zum Inhalte des Hochdruckzylinders ist. Um dieses Verhältnis so groß als möglich zu machen, muß die Abschlußvorrichtung unmittelbar vor dem Niederdruckschieberkasten angeordnet werden. Bei den gewöhnlich vorhandenen Verbinderinhalten von dem 2,0 bis 3,0fachen des Hochdruckzylinderinhaltes erfolgt die Umschaltung auf Verbundwirkung nach 1 bis 1½ Umdrehungen. In diesem Augenblick ist die größte mittlere Zugkraft Z_{m1}, die anfangs gleich derjenigen der Zwillingslokomotive war, gesunken bis auf die größte Verbundzugkraft, auf die gleichen Werte von Z_{m1} wie vorher, die in allen Fällen um 25 bis 30 vH hinter der größten mittleren Zugkraft der gleichartigen Zwillingslokomotive zurückbleiben. Darin liegt der bei Anwendung dieser Hilfsmittel unvermeidliche Nachteil.

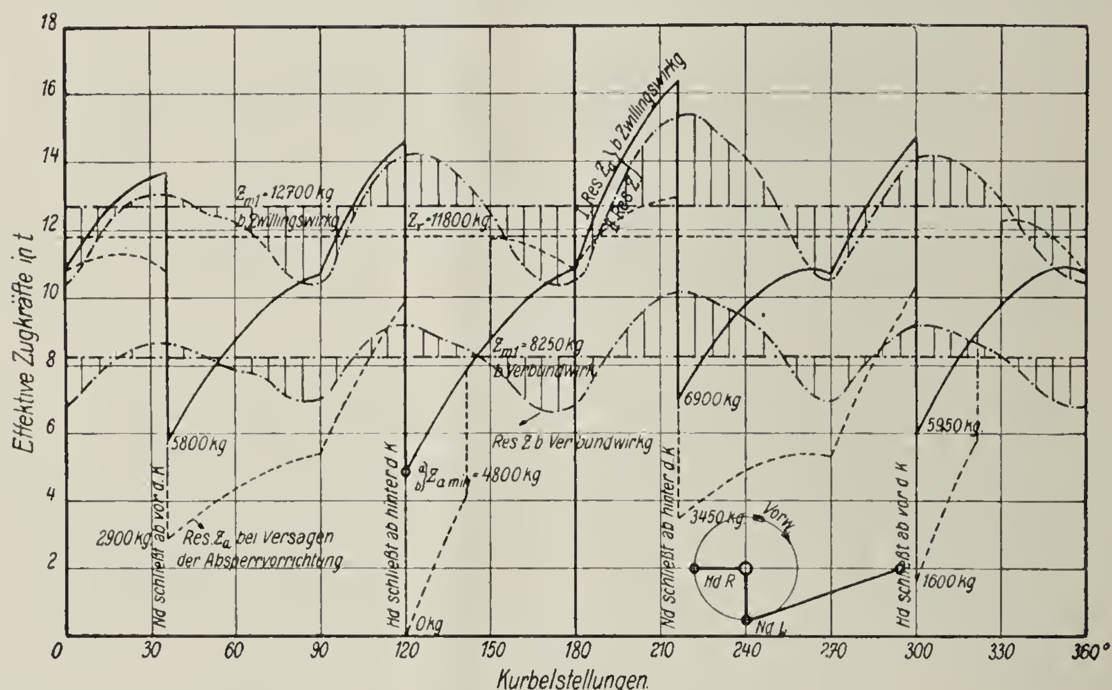


Abb. 14. Die Anziehkräfte am Treibradumfang der $G_{7\,Verb.}$ a) Anfahren mit Hilfsdampf ($p_h = 6$ at) zum Verbinder bei Absperrung desselben vom Hochdruckzylinder; b) Anfahren mit Zwillingswirkung.

Infolge dieser kleineren Werte von Z_{m1} wird es entsprechend längere Zeit in Anspruch nehmen, bis die Verbundlokomotive nach dem Anfahren von der Stelle ihre Zuglast auf Geschwindigkeit gebracht hat. Dazu genügt es nicht, allein für die erste Umdrehung Zwillingswirkung mit ihrer Zugkraft ausüben zu können, sondern dieselbe muß solange aufrecht erhalten bleiben, bis auch die größte Verbundzugkraft ausreicht, die vorgeschriebene Geschwindigkeit nach bestimmter Fahrzeit zu erreichen. Der Wechsel in den Arbeitsweisen darf dann erfahrungsgemäß, je nach Zugstärke, erst nach 5 bis 10 Umdrehungen erfolgen. Um für diese Zeit den Hochdruckkolben frei von Gegendruck zu halten, müßte der Verbinderraum zur Aufnahme des Abdampfes aus dem Hochdruckzylinder

unendlich groß sein, d. h. es ist für denselben ein unabhängiger Weg ins Freie, ein eigener Auspuff zu schaffen. Dadurch wird die Arbeitsweise der Verbundlokomotive vollkommen in Zwillingswirkung umgewandelt. Die in diesem Falle erzeugten Anfahrzugkräfte Z_a und größten mittleren Zugkräfte Z_{m1} sind naturgemäß dieselben wie bei der gleichartigen Zwillingslokomotive, s. Abb. 14, Linie *b*.

Der Nachteil, daß die größte Verbundzugkraft immer bedeutend hinter der größten Zwillingszugkraft zurückbleibt (gleiche Werte von C_1 für beide Lokomotivgattungen vorausgesetzt), kommt nicht allein für das Anfahren durch Verlängerung der Anfahrzeit zur Geltung, sondern kann auch in der Fahrt zu einer großen Betriebserschwerung führen, wenn im Bedarfsfalle, z. B. auf einer einzigen starken Steigung der ganzen Strecke, eine maximale Zugkraft gegenüber der meistgebrauchten erforderlich wird. Letztere muß stets mit der wirtschaftlich günstigsten Füllung ausgeübt werden; diese liegt bei Zwillingslokomotiven zwischen 20 bis 25 vH, bei den Verbundlokomotiven zwischen 40 bis 45 vH inbezug auf den Hochdruckzylinder. In diesem Füllungsbereich erzeugen beide Lokomotivgattungen (bei gleichem C_1) auch annähernd gleich große Zugkräfte; s. Zahlentafel 11 bezw. Abb. 15.

Zahlentafel 11.

Effektive Maschinenzugkräfte der Zwillings- und Zweizylinder-Verbundlokomotiven bei gleicher 1. Zugkraftcharakteristik $C_1 = 1000$ (für Naßdampf); $\eta_1 = 0,85$.

Füllungen im Hochdruckzylinder	Kesselüberdruck p_k	Zwillingslokomotive $C_1 = 1000$			Zweizylinder-Verbundlokomotive $C_1 = 1000$		
		p_{mi}	$p_{me} = p_{mi}\,\eta_1$	$Z_{me} = C_1\,p_{me}$	p_{mi} (bez Nd.-Zyl.)	p_{me} (bez. Nd.-Zyl.) $= p_{mi}\,\eta_1$	$Z_{me} = C_1\,p_{me}$
vH	at	at	at	kg	at	at	kg
20	12	3,7	3,15	3150	—	—	—
30	12	4,9	4,17	4170	2,7	2,30	2300
40	12	5,9	5,02	5020	3,6	3,06	3060
50	12	6,6	5,61	5610	4,4	3,74	3740
60	12	7,1	6,04	6040	5,05	4,29	4290
70	12	7,5	6,38	6380	5,85	4,97	4970
75	12	7,65	6,50	6500	6,1	5,19	5190

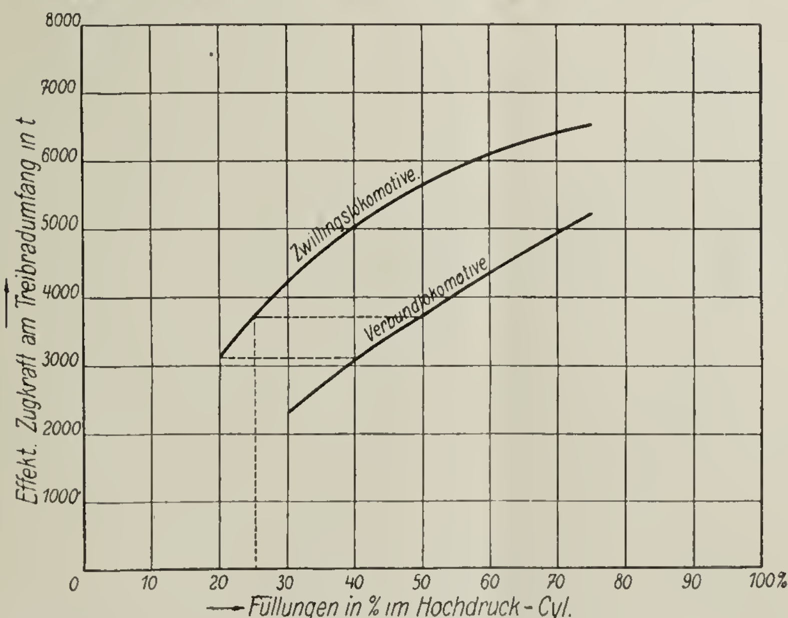


Abb. 15. Maschinenzugkräfte der Zwillings- und Zweizylinder-Verbundlokomotiven bei gleicher 1. Charakteristik $C_1 = 1000$ für Naßdampf).

Die Werte von p_{mi} in Zahlentafel 11 sind entwickelt für die Zwillingslokomotive aus einer Naßdampfdiagrammreihe, welche entsprechend der von Zillgen[1]) veröffentlichten Heißdampfdiagrammreihe aufgestellt wurde; diejenigen für die Verbundlokomotive[2]) sind der Eisenbahntechnik der Gegenwart entnommen. Die Werte für Z_{me} gelten für Dauerleistungen bei Geschwindigkeiten, die für jeden Wert durch die Dampferzeugungsfähigkeit des Kessels bestimmt werden; die großen Zugkräfte dementsprechend bei geringer, die kleinen bei großer Fahrgeschwindigkeit. Als kleinste regelrecht anzuwendende Füllungen sind angenommen 20 vH für die Zwillingslokomotive und 30 vH (im Hochdruckzylinder) für die Verbundlokomotive, als größte 75 vH für beide. Die bei dieser Höchstfüllung erzeugten größten Zugkräfte betragen bei der Zwillingslokomotive etwa das 2,1 fache der meist gebrauchten, bei der Verbundlokomotive nur das 1,7 fache. Wollte man bei letzterer die gleiche größte Zugkraft mit Verbundwirkung ausüben können, so wäre dazu eine ganz erhebliche Vergrößerung der Zylinderabmessungen erforderlich. Die meist gebrauchten Zugkräfte erfordern aber alsdann so geringe Füllungen, daß diese eine wirtschaftliche Dampfausnutzung nicht mehr ergeben würden. Um für Bedarfsfälle eine größte Zugkraft gleich derjenigen der Zwillingslokomotive zur Verfügung zu haben, ändert man dafür am besten die Arbeitsweise der Verbundlokomotive um in Zwillingswirkung. Grundsätzlich falsch ist es aber, wenn man die oberhalb einer bestimmten Grenze liegenden Zugkräfte regelmäßig mit Zwillingswirkung ausüben wollte. Die Vorteile der Verbundwirkung müssen vielmehr soweit als irgend möglich ausgenutzt werden. Die Anwendung der Zwillingswirkung soll regelmäßig nur für das Anfahren erfolgen; in Fahrt muß sie auf Bedarfsfälle beschränkt bleiben.

[1]) Dissertation von Zillgen (Berlin 1908): »Die Verkürzung der Fahrzeit im Schnellzugbetriebe und die Mittel zu ihrer Durchführung«.

[2]) E. T. d. G. 2. Aufl. Zahlentafel XXXVII S. 347.

Zahlen-
Kleinste effektive Anfahrzugkräfte Z_{amin} und größte mittlere
Verbund-

Nr.	Art des Anfahrens bezw. Art der Anfahrvorrichtung	Ueberdruck der Kesselspannung p_k at	Ueberdruck der Hilfsdampfspannung p_h at	größte mittlere Füllung ε_{max} H.-D.-Zyl. vH	größte mittlere Füllung ε_{max} N.-D.-Zyl. vH	größte Reibungszugkraft Z_r $\mu = 225$ kg/t kg
	Zwillingslokomotive	12	—	75	—	11 800
	Zweizylinder-Verbundlokomotive:					
1	Anfahren ohne Hilfsmittel	12	—	75	80	11 800
2	mit Hilfsdampf zum Verbinder ohne Druckausgleich	»	4	»	»	»
3	» » » » mit »	»	4	»	»	»
4	» » » » » »	»	5	»	»	»
5	» » » » » »	»	6	»	»	»
6	mit gesteuerter Zuführung des Hilfsdampfes: Lindner II	»	5	»	»	»
7	mit gesteuerter Zuführung des Hilfsdampfes: Lindner III, Ranafier	»	5	»	»	»
8	mit gesteuerter Zuführung des Hilfsdampfes: Gölsdorf	»	5	91	91	»
9	mit Hilfsdampf zum Verbinder und zeitweiliger Absperrung des Hochdruckzylinders	»	6	75	80	»
10	mit Zwillingswirkung	»	6	75	80	»

b) Einteilung der Anfahrvorrichtungen für Zweizylinder-Verbundlokomotiven (K. V. stets 90°).

I. Anfahrvorrichtungen der 1. Art:

Frischdampf hilfsweise in den Verbinder bezw. Schieberkasten des Niederdruckzylinders leitend; keine Absperrung zwischen Hochdruck- und Niederdruckzylinder.

Gruppe 1: Ohne Druckausgleich am Hochdruckkolben; Frischdampf selbsttätig
- a) vom Regler:
  - v. Borries,
  - Schichau (nicht patentiert);
- b) durch von der Umsteuerung bewegten Schieber, Hahn, oder Ventil:
  - v. Borries (D. R. P. Nr. 14176 vom 11. 12. 1880).

Gruppe 2: Mit Druckausgleich am Hochdruckkolben:
- a) durch Rückschlagventile:
  - Henschel & Sohn, Cassel (D. R. P. Nr. 22368 vom 4. 6. 1883, D. R. P. Nr. 28569 vom 26. 8. 1884)
- b) durch Ausgleichkanäle im Hochdruckschieber:
  - Lindner I (D. R. P. Nr. 45231 vom 4. 1. 1888, D. R. P. Nr. 47858 vom 31. 1. 1889, D. R. P. Nr. 50951 vom 15. 5. 1889, D. R. P. Nr. 52972 vom 20. 2. 1890).

Gruppe 3: Mit besonderer Steuerung für die Zuführung des Frischdampfes für den Niederdruckzylinder:
- a) mit Druckausgleich am Hochdruckkolben
  - α) durch Ausgleichkanäle im Hochdruckschieber:
    - Lindner II (D. R. P. Nr. 57044 vom 26. 11. 1890),
    - Oesterreicher (D. R. P. Nr. 84809 vom 24. 1. 1896);

tafel 10.

effektive Zugkräfte Z_{m1} (am Treibradumfang) der Zweizylinderlokomotiven.

Nr.	effektive Anfahrzugkräfte Z_a						größte mittlere effektive Zugkräfte Z_{m1}							
	bei Abschluß des		kleinste effektive Anfahrzugkraft $Z_{a\,min}$				Anteil des				Gesamtzugkraft Z_{m1}			
							H.-D.-Zyl		N.-D.-Zyl.					
	H.-D.-Zyl kg	N.-D.-Zyl. kg	$Z_{a\,min}$ kg	$\frac{Z_{a\,min}}{Z_r} = c_{min}$	k_{min}*	Verhältniszahl	kg	vH	kg	vH	Z_{m1} kg	$\frac{Z_{m1}}{Z_r} = c_{m1}$	a_{m1}*	Verhältniszahl
	4800	—	4800	0,41	0,374	1,0	—	—	—	—	12600	1,07	0,770	1,0
1	0	0	Anfahren zwischen 120° bis 205° und 300° bis 25° Kurbelwinkel unmöglich											
2	50	3800	50	0,004	—	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—
3	3250	3800	3250	0,28	0,253	0,70	4100	49,7	4150	50,3	8250	0,70	0,505	0,66
4	4050	3300	3300	0,28	0,257	0,70	3550	40,4	5250	59,6	8800	0,75	0,538	0,71
5	4800	2900	2900	0,25	0,226	0,60	2950	31,9	6300	68,1	9250	0,78	0,566	0,73
6	4050	5700	4050	0,34	0,316	0,85	3550	40,4	5250	59,6	8800	0,75	0,538	0,71
7	7100	5700	5700	0,48	0,444	1,19	3550	40,4	5250	59,6	8800	0,75	0,538	0,71
8	4500	6200	4500	0,38	0,351	0 94	3800	41,3	5400	58,7	9200	0,78	0,565	0,73
9	4800	5800	4800	0,41	0,374	1,0	während der ersten Umdrehung:							
							6300	49,6	6400	50,4	12700	1,07	0,777	1,0
							nach der Umschaltung auf Verbund:							
							4100	49,7	4150	50,3	8250	0,70	0,505	0,66
10	4800	5800	4800	0,41	0,374	1,0	6300	49,6	6400	50,4	12700	1,07	0,777	1,0

* bezüglich Niederdruckzylinder.

β) durch Abschlußklappe im Verbinder:
Brüggemann (D. R. P. Nr. 83036 vom 28. 8. 1895);

b) mit Nachfüllung für den Hochdruckzylinder:
Lindner III (D. R. P. Nr. 78285 vom 26. 5. 1894, D. R. P. Nr. 82896 vom 3. 3. 1895),
Ranafier (nicht patentiert);

c) bei großer Füllung (etwa 90 vH) für beide Zylinder:
Gölsdorf (D. R. P. Nr. 75023 vom 8. 4. 1893).

II. Anfahrvorrichtung der 2. Art:

Frischdampf hilfsweise in den Verbinder leitend bei Absperrung des Hochdruckzylinders gegen den Niederdruckzylinder für die ersten 1 bis 1½ Umdrehungen:

Gruppe 4:

a) Die Absperrung erfolgt von Hand, die Umschaltung auf Verbund selbsttätig; die Absperrvorrichtung ist
ein Tellerventil:
v. Borries (D. R. P. Nr. 31340 vom 23. 10. 1884),
eine dampfdicht schließende Klappe:
Worsdell (Engl. Pat. Spec. Nr. 999 vom 23. 1. 1885, Pat. Spec. U. S. A. Nr. 380834 vom 5. 4. 1887),
Büte (nicht patentiert).

b) Absperrung und Umschaltung erfolgen selbsttätig; die Absperrvorrichtung ist
ein Tellerventil:
v. Borries (D. R. P. Nr. 43178 vom 4. 5. 1888, D. R. P. Nr. 68637 vom 8. 5. 1893),
eine dampfdicht schließende Klappe:
Reuben Wells (nicht patentiert),
ein Gitterschieber:
Schichau (D. R. P. Nr. 33128 vom 28. 4 1885),
ein Kolbenschieber:
Pitkin (Pat. Spec. U. S. A. Nr. 417083 vom 10. 12. 1889, Pat. Spec. U. S. A. Nr. 450374 vom 14. 4. 1891).
Reuben-Wells, Schichau und Pitkin mit selbsttätigem Druckmindererventil.

III. Anfahrvorrichtungen der 2./3. Art:

Frischdampf hilfsweise in den Verbinder leitend bei selbsttätiger Absperrung zwischen Hochdruck- und Niederdruckzylinder und zuschaltbarem Hilfsauspuff für den Hochdruckzylinder.

Gruppe 5: Die Absperrvorrichtung ist
eine dampfdicht schließende Klappe:
Lapage (Engl. Pat. Spec. Nr. 310 von 1887);
ein Tellerventil:
Mellin (Pat. Spec. U. S. A. Nr. 519407 vom 8. 5. 1894);
ein Kolbenschieber:
Batchellor (Pat. Spec. U. S. A. Nr. 459851 vom 22. 9. 1891).
Mellin und Batchellor mit selbsttätigem Druckmindererventil.

IV. Anfahrvorrichtungen der 3. Art:

Frischdampf für beide Zylinder bei vollständigem Wechsel von Verbund- in Zwillingswirkung.

Gruppe 6: Die Umschaltung erfolgt selbsttätig durch die wachsende Auspuffspannung des Hochdruckzylinders; das Wechselorgan ist ein Tellerventil:
v. Borries (D. R. P. Nr. 114787 vom 10. 2. 1900).

Gruppe 7: Die Umschaltung erfolgt zwangläufig beim Verlegen der Umsteuerung in die Endlagen; das Wechselorgan ist ein Kolbenschieber:
Maffei.

Gruppe 8: Die Umschaltung erfolgt beliebig von Hand:
a) mit Vorspann durch Kraftmittel:
Wechselorgan ist ein Kolbenschieber (entlastet):
Mallet (D. R. P. Nr. 39141 vom 18. 7. 1886);
ein Doppelkolben (zugleich selbsttätiger Druckminderer):
v. Borries (D. R. P. Nr. 67234 vom 12. 4. 1892),
v. Borries (D. R. P. Nr. 95148 vom 27. 9. 1896, D. R. P. Nr. 117209 vom 14. 2. 1900);
b) von Hand unmittelbar:
Wechselorgan ist ein Kolbenschieber:
Colvin (Pat. Spec. U. S. A. Nr. 428892 vom 27. 5. 1890, Pat. Spec. U. S. A. Nr. 463856 vom 24. 11. 1891),
Dultz (D. R. P. Nr. 83386 vom 16. 8. 1894),
Kgl. Eisenbahndirektion Magdeburg (nicht patentiert) mit selbsttätigem Druckminderer;
ein Drehschieber:
Hauptwerkstatt Grunewald (nicht patentiert),
Gölsdorf (D. R. P. Nr. 80020 vom 7. 7. 1894).

c) Beurteilung der wichtigsten Anfahrvorrichtungen für Zweizylinder-Verbundlokomotiven.

Von der großen Zahl der Anfahrvorrichtungen sind nur die in der Einteilung angegebenen wichtigsten Ausführungen näher besprochen. In Hauptgruppe I sind die Anfahrvorrichtungen der sogenannten 1. Art zusammengefaßt, welche zum Anfahren Frischdampf in den Verbinder leiten, ohne eine Absperrung zwischen Hochdruck- und Niederdruckzylinder vorzunehmen.

Die einfachsten Anfahrvorrichtungen, Gruppe 1, beschränken sich allein auf die Zuführung von Frischdampf zum Verbinder. Sie stimmen in der Wirkungsweise alle überein und bestehen im wesentlichen aus einer Frischdampfleitung vom Hauptdampfrohr zum Verbinder, welches die Zuführung des Hilfsdampfes besorgt. Die erste Anfahrvorrichtung von v. Borries[1]) (und ebenso Schichau) zweigt das Frischdampfrohr von dem Kopfe des Dampfeinlaßreglers ab, Abb. 16. Beim Oeffnen des kleinen Reglerschiebers zum Hochdruckzylinder wird gleichzeitig im Reglerkopf ein weiterer Kanal freigegeben, an welchen das Frischdampfrohr zum Verbinder anschließt; die Anordnung ist also selbsttätig. Auf die Selbsttätigkeit der Anfahrvorrichtungen wurde zu Anfang der Entwickelung größer Wert gelegt, weil die Bedienung einer Verbundlokomotive keinen Handgriff mehr erfordern sollte als die der einfachen Zwil-

[1]) Z. d. V. d. I. 1880 S. 447 und 1896 S. 9, S. 361. Annalen 1880 S. 325, 1889 S. 149.

lingslokomotive. Die Abzweigung der Anfahrleitung vom Dampfeingangsregler erfordert aber eine aufmerksame Bedienung desselben. Das Anfahren muß stets mit dem kleinen Regler erfolgen; nach Eintritt der Bewegung ist der Regler weiter zu öffnen, um die Anfahrleitung abzusperren. Während der Fahrt ist nur der große Reglerschieber zu benutzen. Die entsprechenden Stellungen des Reglerhebels am Führungsbock werden zweckmäßig besonders kenntlich gemacht.

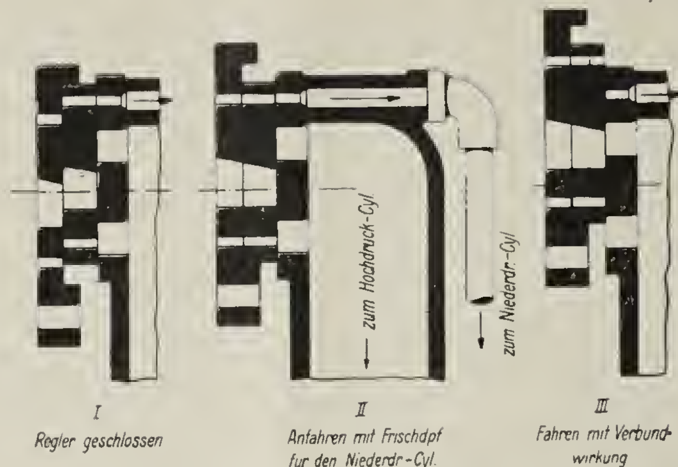


Abb. 16. Dampfeinlaßregler mit Anfahrrohr nach v. Borries.

Bei seiner ersten durch Patent geschützten Anfahrvorrichtung[1]) (D. R. P. Nr. 14176) sah von Borries die Zuführung des Hilfsdampfes in Abhängigkeit von der Umsteuerung vor. In die vom Hauptdampfrohr abzweigende Anfahrleitung ist, grundsätzlich der Abb. 18 entsprechend, eine Absperrvorrichtung (Ventil, Hahn oder Schieber) eingeschaltet, welche mit dem Stellzeug der Steuerung derart gekuppelt ist, daß dieselbe geöffnet wird nur bei voll vorwärts oder rückwärts ausgelegter Steuerung; das Anfahren nämlich erfolgt stets mit der Höchstfüllung. Diese Art der Zuführung des Hilfsdampfes ist also gleichfalls selbsttätig, ergibt aber einen Nachteil, den alle diejenigen Anfahrvorrichtungen aufweisen, welche mit dem Verlegen der Steuerung in die Endlagen gleichzeitig die Frischdampfleitung zum Verbinder öffnen. Müssen nämlich auch in Fahrt die Höchstfüllungen zur Erzielung der größtmöglichen Zugkraft angewendet werden, so wird durch den dabei dauernd in den Verbinder strömenden Hilfsdampf die Spannung in demselben zu hoch gesteigert. Der Gegendruck für den Hochdruckkolben vergrößert sich derart, daß die sonst für beide Maschinenseiten gleiche Arbeitsverteilung erheblich gestört wird. Für die Fahrt dürfen nur solche Füllungsgrade benutzt werden, bei denen die Anfahrleitung noch geschlossen bleibt. Die größte Fahrtfüllung muß daher um 10 vH bis 15 vH kleiner bleiben als die Höchstfüllung der Steuerung an sich. Das bedeutet eine beträchtliche Herabminderung der andernfalls für die Fahrt zur Verfügung stehenden größten Zugkraft.

Die bei Frischdampfzuführung in den Verbinder allein erreichten Anfahrzugkräfte, s. Abb. 11, Linie *a*, sind wegen der negativen Drehmomente des Hochdruckkolbens völlig unzureichend. Aus den Kurbelstellungen der Dehnungsperioden der Hochdruckseite kann das Anziehen überhaupt nicht erfolgen; in der ungünstigsten Kurbelstellung ist $Z_{a\,min}$ etwa $= 0$! Beide Anordnungen, Ableitung des Hilfsdampfes vom Regler bezw. Verbindung eines Anfahrhahnes mit der Umsteuerung, können daher als Anfahrvorrichtungen im eigentlichen Sinne nicht angesehen werden. Wegen ihrer Einfachheit sind sie in anderen Kombinationen jedoch vielfach benutzt worden.

---

[1]) Annalen 1889 S. 149.

Die Anfahrvorrichtungen der Gruppe 2 fügen der Frischdampfzuführung für den Niederdruckzylinder den unerläßlich notwendigen Druckausgleich für den Hochdruckkolben hinzu. Bei der Anfahrvorrichtung von Henschel & Sohn [1]) (D. R. P. Nr. 22368/28569) leitet ein am Einströmstutzen des Hochdruckzylinders angeordnetes und durch Druckdifferenzen gesteuertes Reduktionsventil beim Oeffnen des Reglers Dampf von verminderter Spannung zum Anfahren in den Verbinder. Sobald der Dampfdruck in diesem nach Eintritt der Bewegung

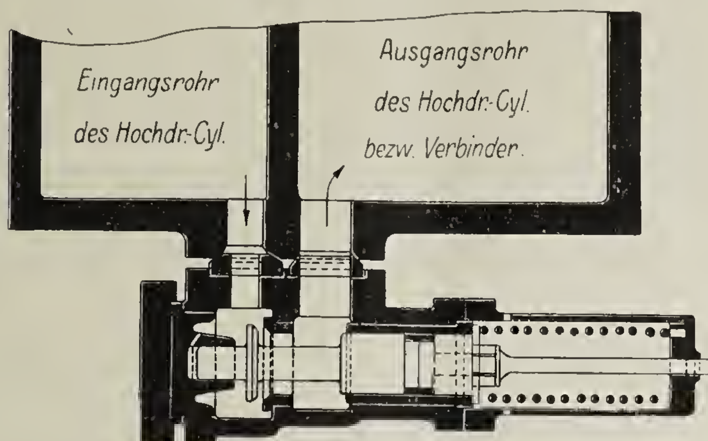


Abb. 17. Anfahrvorrichtung mit selbsttätigem Reduktionsventil von Henschel & Sohn.

eine bestimmte Höhe erreicht hat, schließt sich das Ventil wieder; die Verbinderspannung ist durch Nachspannen der Ventilbelastungsfeder regelbar, s. Abb. 17. Die Entlastung des Hochdruckkolbens von dem Rückdruck aus dem Verbinder erfolgt durch einen kleinen Kanal von der Mitte des Hochdruckzylinders nach seiner Ausströmung, welcher mit einem Rückschlagventil abgeschlossen ist. Dieses öffnet sich nur zum Zylinder hin und erfüllt bei bedeckten Einströmungen den Raum auf der Treibseite des Hochdruckkolbens zum Druckausgleich mit Verbinderdampf.

Die bekannteste Anfahrvorrichtung dieser Gruppe, Lindner I [2]), bewirkt die Zuführung des Hilfsdampfes durch eine Hilfsleitung zum Verbinder mit Anfahrhahn in der schon besprochenen Verbindung mit der Umsteuerung, Abb. 18, mit dem (allerdings aufgegebenen) Patent Nr. 14176 von v. Borries in



Abb. 18. Anfahrvorrichtung Lindner I.

[1]) Z. d. V. d. I. 1884 S. 882. Annalen 1883 S. 159, 1885 S. 9.
[2]) Z. d. V. d. I. 1889 S. 385. Annalen 1897 S. 43.

der Wirkungsweise völlig übereinstimmend. Der Druckausgleich für den Hochdruckkolben wird durch besondere Kanäle im Hochdruckschieber selbst bewirkt, welche so angeordnet sind, daß sie die Ausströmung jeweils mit der Treibseite des Hochdruckkolbens verbinden, wenn beide Kanäle für Einströmung geschlossen sind.

Beide Anfahrvorrichtungen dieser Gruppe gelangen beim Anfahren jedesmal selbsttätig zur Wirkung. Während die Anordnung von Henschel & Sohn dem gewollten Zweck anstandslos entsprochen hat, ergab sich bei Lindner eine gewisse Unsicherheit beim Anfahren, weil der Druckausgleich für den Hochdruckkolben infolge des notwendig kleinen Querschnittes der Ausgleichkanäle nur langsam sich vollziehen kann. Die Folge ist eine entsprechende Verzögerung der Einleitung der Bewegung. Eine Vergrößerung dieser Kanalquerschnitte ist jedoch nicht angängig, wenn merkliche Einflüsse auf die Dehnung durch vorzeitige Ausströmung während der Fahrt vermieden werden sollen.

Anfahrvorrichtungen der eben besprochenen Art beseitigen durch den Druckausgleich für den Hochdruckkolben zwar das rückwärts drehende Moment desselben, die erreichten Anziehkräfte sind jedoch zu gering; $Z_{a\,min}$ erreicht nur Werte bis zu 0,28 Z_r und Z_{m1} bis zu 0,75 Z_r; Abb. 11, Linie *b*. Eine Verbesserung dieser Verhältnisse versuchten die Anfahrvorrichtungen mit zwangläufiger Steuerung für den Hilfsdampf, Gruppe 3, um den Hochdruckkolben in den Kurbelstellungen gänzlich rückdruckfrei zu bekommen, wo derselbe allein anziehen muß. Besonders hervorgehoben sei aber, daß Druckausgleich für den Hochdruckkolben während der Dehnungsperioden unbedingt notwendig bleibt.

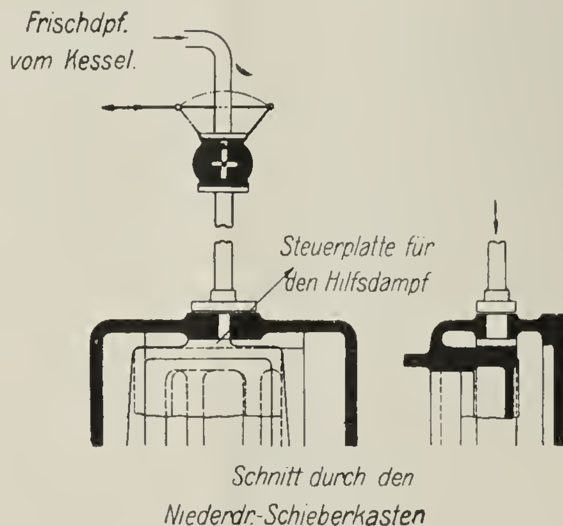


Abb. 19 Anfahrvorrichtung Lindner II.

Für die Steuerung der Hilfsdampfzuführung ist in der Regel die Schieberbewegung selbst benutzt worden. Lindner II [1]) steuert die Oeffnung der Frischdampfleitung in den Niederdruckschieberkasten durch eine am Schieberrahmen angesetzte Schleifplatte mit genau denselben Oeffnungs- und Schlußzeiten wie für den Schieber selbst, Abb. 19. Die Zuführung des Hilfsdampfes erfolgt selbsttätig durch Frischdampfleitung mit von der Steuerwelle bewegtem Anfahrhahn, der Druckausgleich am Hochdruckkolben durch Ausgleichkanäle im Schieber, genau wie bei der Anfahrvorrichtung Lindner I. Brüggemann [2]) be-

[1]) E. T. d. G. 2. Aufl. S. 370.

[2]) Annalen 1897 II S. 43.

nutzt nur die bei voll ausgelegter Steuerung erfolgenden größten Schieberwege, um durch eine Kurvenleiste auf dem Niederdruckschieberrücken ein Frischdampfventil allein bei diesen Steuerungslagen zu öffnen und zu schließen. Die Vorrichtung wird wie bei Lindner außer Wirksamkeit gesetzt, sobald die Steuerung nach dem Anfahren zurückgelegt wird. Zur Entlastung des Hochdruckkolbens kombiniert Brüggemann seine Anfahrvorrichtung mit einer Abschlußklappe im Verbinder, in dieser Hinsicht eigentlich zur Hauptgruppe II gehörig.

Die Verbindung der Anfahrvorrichtung mit der Umsteuerung beeinträchtigt bei Lindner II und Brüggemann in der bereits gekennzeichneten Weise die Benutzung der Höchstfüllungen für die Fahrt. Diesen Nachteil sucht Oesterreicher [1]) dadurch zu vermeiden, daß er den durch einen besonderen Hilfskanal im Hochdruckschieber abgeleiteten Hilfsdampf zunächst führt zu einem von Hand bewegten Absperr- und Verteilungsschieber, s. Abb. 20. In der Anfahr-

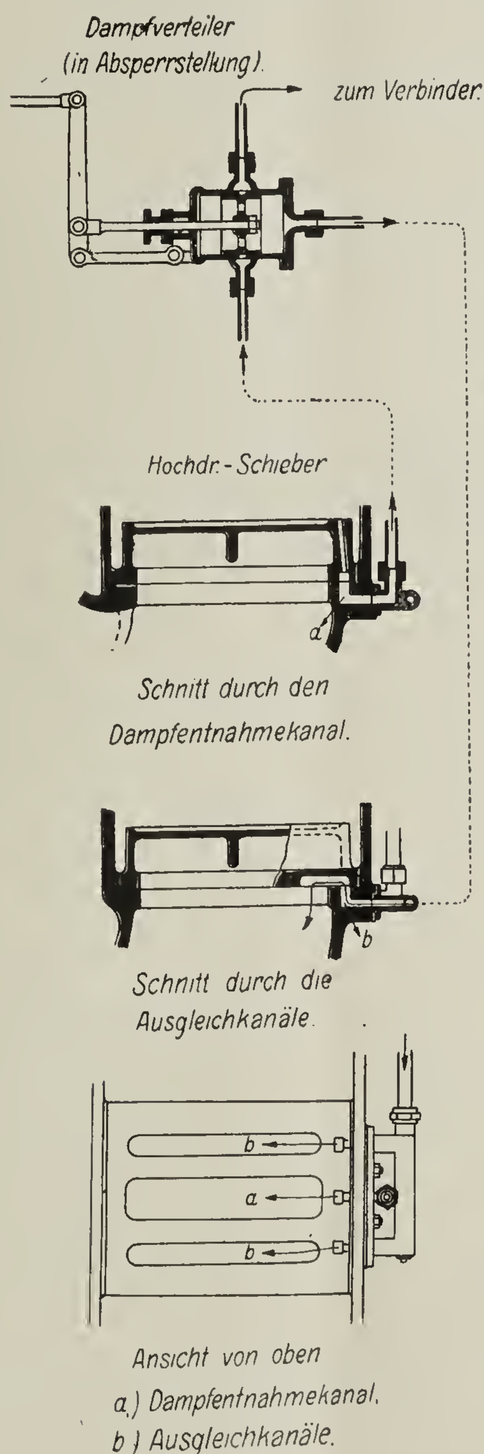


Abb. 20. Anfahrvorrichtung von Oesterreicher.

[1]) Patentschrift Nr. 84809.

stellung gelangt der Hilfsdampf von hier aus durch eine Leitung zurück zum Hochdruckzylinder, mittels zweier weiterer Kanäle im Schieber den Druckausgleich bewirkend; durch eine zweite Leitung zum Anfahren in den Verbinder. In der Ruhestellung sind beide Leitungen abgesperrt und damit die ganze Vorrichtung außer Tätigkeit. Diese Anfahrvorrichtung ist durch die Hinzufügung des Absperr- und Verteilungsschiebers nicht mehr selbsttätig; sie gestattet aber die störungsfreie Anwendung der Höchstfüllungen auch während der Fahrt.

Die Anziehkräfte bei diesen Anfahrvorrichtungen, s. Abb. 12, Linie *a*, sind mit $Z_{a\,min}$ etwa 0,34 Z_r und Z_{m1} etwa 0,75 Z_r nicht wesentlich größer als bei denen der vorhergehenden Gruppe und ebenfalls als zu klein zu beurteilen. Eine Reihe von Anfahrvorrichtungen macht daher Gebrauch von dem günstigen Einflusse großer Höchstfüllungen auf die Größe der Anfahrzugkräfte. Die Anfahrvorrichtung Lindner III[1]) vergrößert die Höchstfüllung für den Hochdruckzylinder durch Nachfüllung desselben mittels besonderer Hilfssteuerung, welche aus einem auf der Niederdruckschieberstange sitzenden kleinen Doppelkolben besteht, Abb. 21. Dieser Steuerkolben läßt den zuströmenden Frischdampf nach Füllungsabschluß des Hochdruckschiebers durch eine Leitung nachfüllend in die Mitte des Hochdruckzylinders eintreten. Eine zweite Leitung führt zur Mitte des Niederdruckzylinders, um bei Undichtigkeiten von Kolben und Schieber der Hochdruckseite den Verbinder etwa anfüllenden Leckdampf zur Vermeidung jeglichen Rückdruckes daraus abzuleiten. Die zu den Zylindermitten führenden Hilfsleitungen sind mit Absperrhähnen versehen, die wie vorher durch Auslegen der Steuerung bedient werden.

Die beim Anfahren aus den verschiedenen Kurbelstellungen sich ergebenden Vorgänge sind in Abb. 21 durch das Kurbelkreisdiagramm kenntlich gemacht. Zu beachten ist, daß der Niederdruckkurbelkreis um 90° gedreht ist, um gleichzeitige Stellungen der beiden Kurbeln leicht erkennen zu können. Aus den Kurbelstellungen 2 bis 5 (bezw. 2' bis 5') zieht in der Hauptsache der Hochdruckzylinder bei günstigen Hebelarmen mit voller Kraft allein an; etwaiger Leckdampf wird zur Niederdruckzylindermitte abgeleitet. Aus den Kurbelstellungen 5 bis 6, in 5 schließt der Hochdruckschieber ab, ziehen beide Kolben gemeinsam an. Für den Hochdruckzylinder erfolgt Nachfüllung nach Zylindermitte durch die Hilfssteuerung. Der Niederdruckzylinder erhält Frischdampf von der Hochdrucktreibseite durch den entsprechenden Hilfskanal im Schieber (die Hilfskanäle wirken hier weniger als Druckausgleicher, sondern in erster Linie als Ueberströmkanäle für den Verbinder), weiter durch die Schiebermuschel und den Hochdruckauslaß in den Verbinder. Gleichzeitig kann in diesen Kurbelstellungen der überströmende Frischdampf durch den anderen Hilfskanal zur Gegenseite des Hochdruckkolbens als hemmend gelangen, so daß in diesen Stellungen Rückdruck nicht völlig vermieden ist. Aus den Kurbelstellungen 6 bis 1', in 6 öffnet der Hochdruckauslaß, zieht der Niederdruckzylinder bei günstigsten Hebelarmen allein an, wobei er Frischdampf auf dem eben beschriebenen Wege durch die Hochdruckschiebermuschel erhält. Der Hochdruckkolben steht im ungünstigsten Falle nur unter Druckausgleich. Aus den Stellungen von 1' ab ziehen beide Kolben wieder gemeinsam an, bis in 2' der Niederdruckschieber abschließt usw.

Die dabei erreichten Anzugkräfte entsprechen im wesentlichen der Darstellung in Abb. 12, Linie *b*. Ein rückwärts drehendes Moment der Hochdruck-

---

[1]) E. T. d. G. 2. Aufl. S. 371.

seite ist durch die Nachfüllung gänzlich vermieden. Der in den Kurbelstellungen 5 bis 2' mögliche Gegendruck auf den Hochdruckkolben kann, wie schon bemerkt, im ungünstigsten Falle vollständigen Druckausgleich bewirken. In der Regel wird jedoch die Spannung auf der Treibseite des Hochdruckkolbens eine größere bleiben als auf der Gegenseite, da der überströmende Dampf zum weitaus größten Teil den bequemeren Weg zum Hochdruckauslaß und Verbinder nehmen wird. Für die kleinste Anfahrzugkraft $Z_{a\,min}$ ergeben

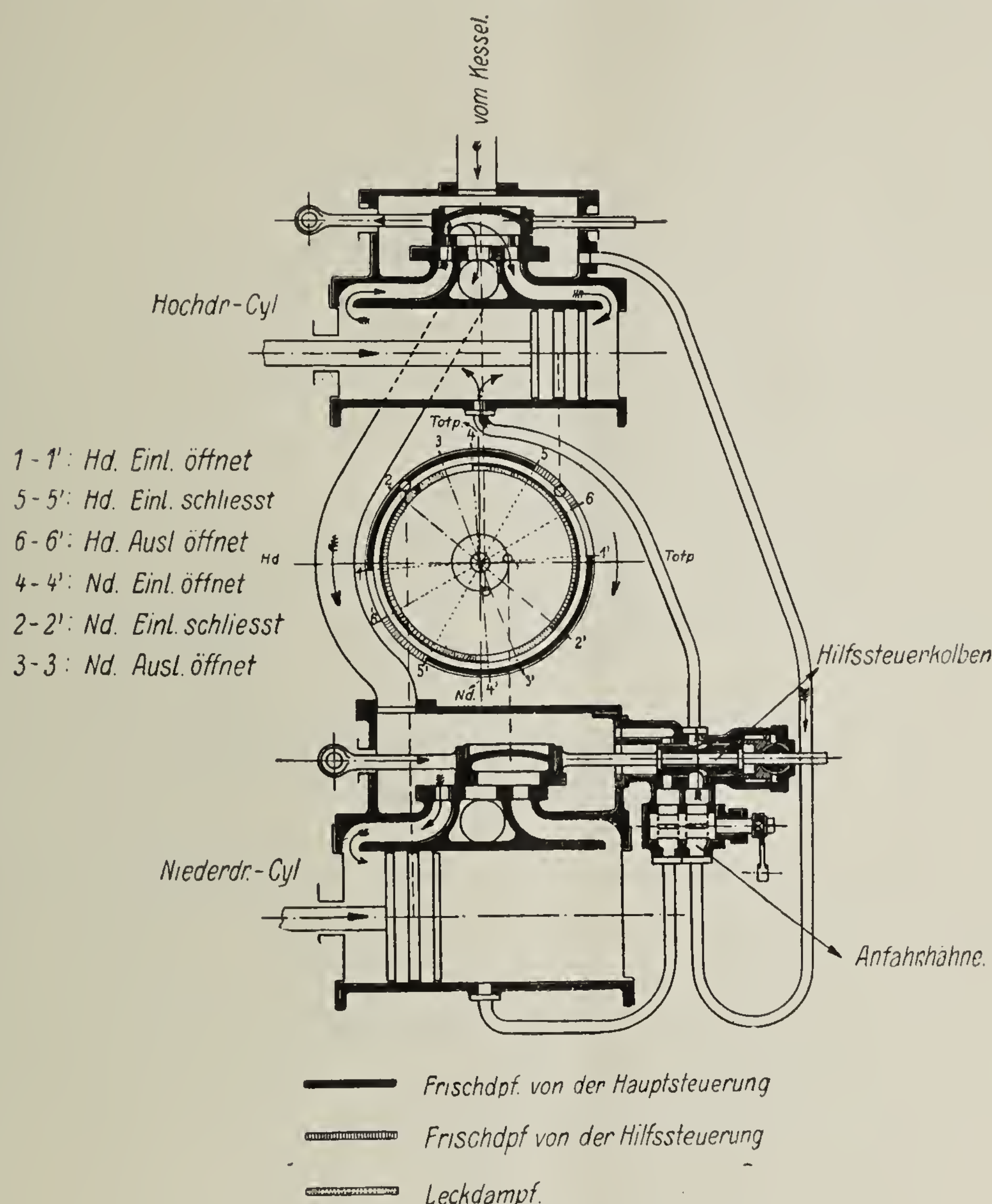


Abb. 21. Anfahrvorrichtung von Lindner III.

sich daher völlig ausreichende Werte von etwa 0,48 Z_r. Für die größte mittlere Zugkraft Z_{m1} dagegen können mit 0,75 Z_r keine größeren Werte erhalten werden als zuvor. Als weiterer Nachteil verbleibt dieser Anfahrvorrichtung, daß die Höchstfüllungen für die Fahrt nicht unbehindert benutzt werden können infolge der Kupplung der Absperrhähne mit der Umsteuerung. Als größte Fahrtfüllung kann nur diejenige in Betracht kommen, bei der die Hähne noch geschlossen sind. Eine Nachspeisung des Verbinders durch die Hilfssteuerung während der Fahrt ist immer mit den Unzuträglichkeiten zu hoher Verbinderspannung verbunden. Davon abgesehen ist die Anfahrvorrichtung Lindner III eine der brauchbarsten und besonders bei der Sächsischen Staatsbahn in großem Umfange zur Einführung gelangt.

Die von Oberbaurat Ranafier-Oldenburg[1]) angegebene Anfahrvorrichtung dieser Art, Abb. 22, will für das Anfahren von der Stelle in allen Kurbel-

[1]) Organ 1909 S. 372. Z. d. V. d. I. 1910 S. 1934.

stellungen größte Anfahrzugkräfte erreichen, ohne für die Fahrt irgendwelche Einschränkung in der Anwendung der Höchstfüllungen bezw. der Verbundwirkung (vergl. S. 38) zu verursachen. Ranafier geht von der Erwägung aus, daß bei Einleitung der Bewegung zwei verschiedenartige Kurbelstellungen zu unterscheiden sind: 1) Aus einer ganzen Reihe derselben zieht der Hochdruckzylinder, solange seine Kurbel unter günstigen Winkeln steht, ohne weiteres allein an. Um diesen Umstand soweit als möglich auszunutzen, wird für den Hochdruckzylinder durch eine Hilfssteuerung Nachfüllung (bis zur Vorausströmung) mittels Rohrleitung nach Zylindermitte gegeben. 2) In den Kurbelstellungen um die Totpunkte, etwa 30° vor bis 30° nach denselben, werden die Hebelarme für die Kolbenkraft des Hochdruckzylinders zu klein, in den Totpunkten selbst = 0. Es muß der Niederdruckzylinder zur Unterstützung bezw. Einleitung der Bewegung herangezogen werden, und zwar durch Zuführung von Frischdampf zum Verbinder mittels einer zweiten Rohrleitung.

Zur scharfen Unterscheidung dieser verschiedenartigen Kurbelstellungen ist in der vom Kessel kommenden Frischdampfleitung zunächst der sogenannte Dampfverteiler (ähnlich wie bei Oesterreicher) vorgesehen, der zugleich Absperrorgan für die ganze Vorrichtung ist. In der Grundstellung sind die Verteilungsleitungen abgeschlossen. Der Kolben des Dampfverteilers wird in dieser (rechten End-)Stellung festgehalten durch geringen Ueberdruck des ständig auf ihn lastenden Frischdampfes. In der zweiten Stellung, für das Anfahren aus den unter 1) genannten Kurbelstellungen, wird zunächst nur die Leitung zur Hilfssteuerung des Hochdruckzylinders geöffnet, deren Anfahrventil nach Art der Lentz-Ventilsteuerung durch Rolle und Hubkurve an der verlängerten Schieberstange gesteuert wird. Die Verbindung zwischen Ventilrolle und Hubkurve ist eine kraftschlüssige, welche erst durch den auftreffenden Frischdampf hergestellt wird. Bei geschlossener Anfahrleitung, Verteiler in Grundstellung, wird das Ventil durch Federkraft abgehoben, sodaß die Kurvenstange frei unter der Rolle hinweggleiten kann. Für die Fahrt bleibt die Hilfssteuerung also gänzlich außer Tätigkeit. Für das Anfahren aus den unter 2) genannten Kurbelstellungen muß der Verteilerkolben in die dritte Lage gebracht werden, wobei dann auch die zweite Leitung zum Verbinder geöffnet wird. Auf eine besondere Steuerung dafür ist verzichtet mit Rücksicht darauf, daß in den in Betracht kommenden Kurbelstellungen die Einströmkanäle des Niederdruckzylinders geöffnet sind, sofern die Hauptsteuerung für diesen etwa 80 vH Höchstfüllung ergibt.

Die mit dieser Einrichtung für das Anfahren von der Stelle, unter der Voraussetzung sachgemäßer Bedienung des Verteilers, erzielbare Dampfverteilung ist in Abb. 22 wieder durch Kurbelkreisdiagramm dargestellt. Aus den Kurbelstellungen 2 bis 4 erfolgt das Anfahren ohne weiteres durch den Hochdruckzylinder mit Dampf von voller Kesselspannung von der Hauptsteuerung her. Spätestens von 4 ab, wo dieselbe abschließt, ist der Verteiler in die zweite Lage zu bringen. Das Anfahren erfolgt weiter allein mit dem Hochdruckzylinder, nun aber mit Frischdampf durch Nachfüllung von der Hilfssteuerung. Etwa von 5 ab, wo die Hebelarme für die Hochdruckkolbenkraft zu klein werden, ist der Verteiler in die dritte Lage zu bringen, um den Niederdruckzylinder durch Zuführung von Frischdampf in den Verbinder zur Unterstützung heranzuziehen. Aus den Kurbelstellungen 5 bis etwa 2' erfolgt das Anfahren demnach mit beiden Zylindern gemeinsam, bezw. aus den Kurbelstellungen von der Vorausströmung des Hochdruckzylinders bis zum Totpunkt mit dem Niederdruckzylinder allein. Solange der Verteiler in der dritten Lage

steht, werden die Anfahrzugkräfte aus dem Hochdruckzylinder durch den Gegendruck der Verbinderspannung herabgesetzt. Rückdruck auf den Hochdruckkolben ist hier unvermeidlich; die Angaben, daß bei dieser Anfahrvorrichtung überhaupt kein Gegendruck entstehen kann, sind nicht zutreffend.

Die für das Anfahren von der Stelle erzielte Kräftewirkung ist gleichwohl eine gute und im wesentlichen die gleiche wie bei Lindner III, s. Abb. 12, Linie *b*. Die kleinste Anfahrzugkraft $Z_{a\,min}$ beträgt etwa 0,48 Z_r. Als größte

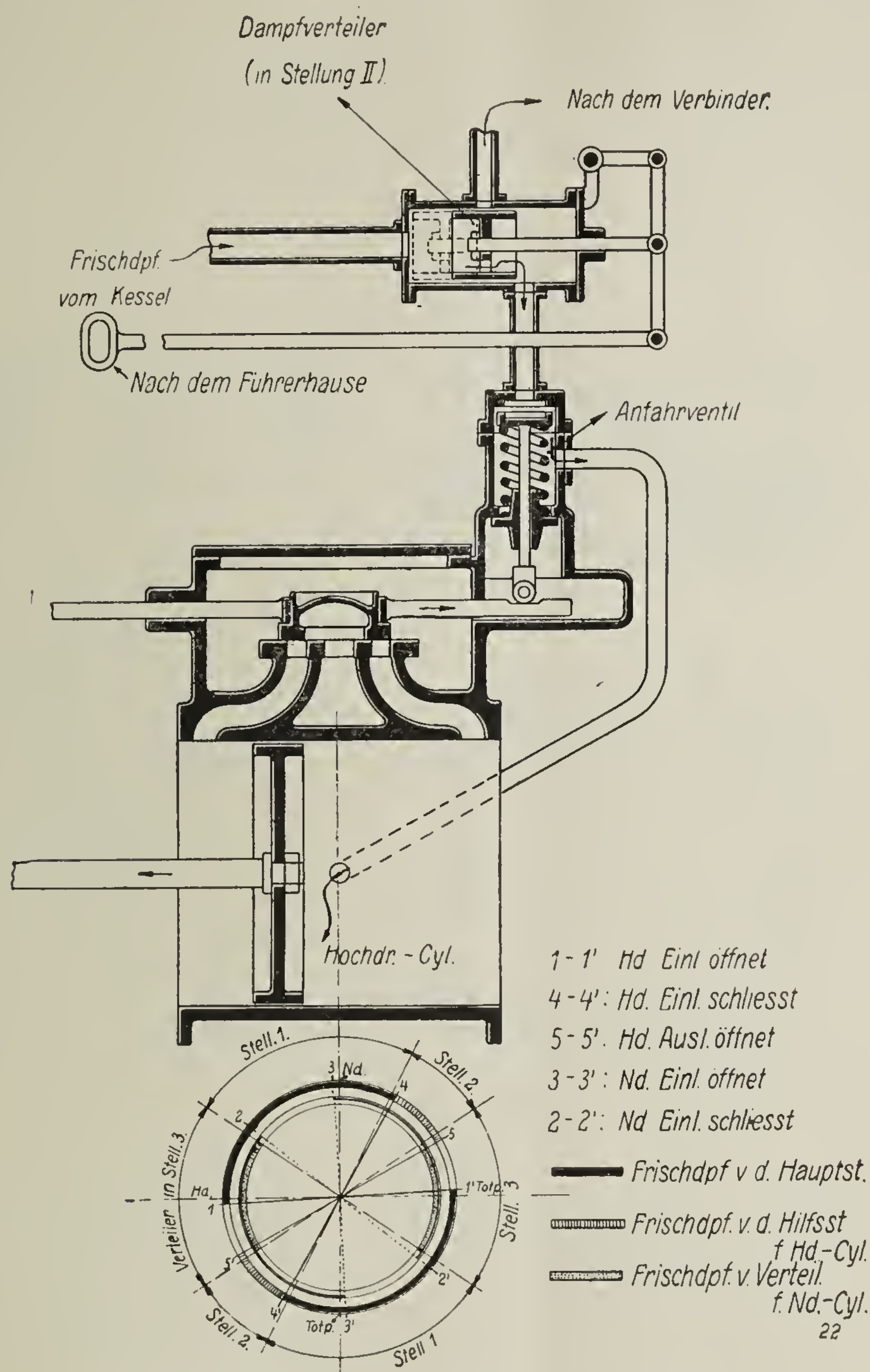


Abb. 22. Anfahrvorrichtung von Ranafier.

mittlere Zugkraft ist auch bei Ranafier mit Z_{m1} etwa 0,75 Z_r keine größere Zugkraft verfügbar als die größte Verbundzugkraft überhaupt. Es ist aber sehr wohl zu beachten, daß die günstige Wirkungsweise für das Anfahren von der Stelle völlig abhängig ist von der richtigen Bedienung der Anfahrvorrichtung, d. h. des Dampfverteilers. Wird der Verteilerkolben für das Anfahren sofort in die dritte Lage gebracht und zwar unzeitig, wenn z. B. die Hochdruckkurbel in günstiger Stellung, die Niederdruckkurbel in der Nähe der Totpunkte steht, so strömt der Frischdampf durch die zweite Leitung auch sofort in den Ver-

binder. Die Dampfspannung kann unter Umständen in demselben bis zur vollen Höhe des Kesseldruckes anwachsen. Der Hochdruckzylinder könnte gegen diesen Rückdruck naturgemäß nicht anziehen, und die Lokomotive bliebe unbeweglich. Um dieses Versagen beim Anfahren auszuschließen, darf der Verteiler stets erst 2 bis 3 Sekunden nach Oeffnen des Reglers in die zweite bezw. dritte Stellung gebracht werden; jedenfalls nicht eher, als man sicher ist, daß die Lokomotive sonst nicht anfährt. Sofort nach Eintritt der Bewegung ist der Handgriff des Verteilers wieder freizugeben, worauf derselbe infolge des Ueberdruckes auf seine Rückseite selbsttätig in die Ruhelage zurückkehrt, die beiden Hilfsleitungen für die Fahrt dadurch absperrend. Diese ziemliche Geschicklichkeit erfordernde Bedienungsweise des Verteilers ist als den Betrieb erschwerend anzusehen; nachteilig wirkt auch das damit ver-

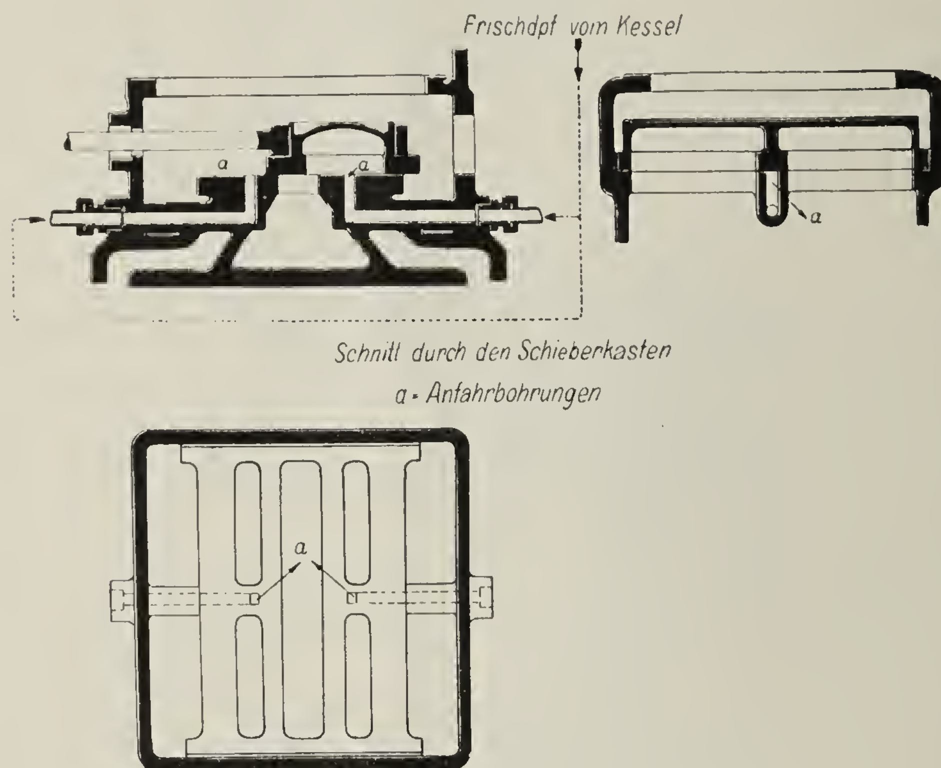


Abb. 23. Anfahrvorrichtung von Gölsdorf.

bundene Abwarten, welches unbedingt eine gewisse Verzögerung in der Einleitung der Bewegung mit sich bringt; sonst aber ist die Anfahrvorrichtung von Ranafier als eine der besten anzusehen. Die Anfahrzugkräfte sind stets groß genug; während der Fahrt bleibt die Hilfssteuerung überhaupt außer Tätigkeit, und das Hauptziel, uneingeschränkte und ungeschmälerte Benutzung der Verbundwirkung, wird voll erreicht.

Die erfolgreichste Anfahrvorrichtung dieser Gruppe ist die allbekannte von Gölsdorf-Wien[1]). Während Lindner und Ranafier zur Vergrößerung der Höchstfüllung Nachfüllung geben, ist bei Gölsdorf die äußere Steuerung bereits so durchgebildet, daß sich für beide Maschinenseiten Höchstfüllungen von über 90 vH ergeben. Die Zuführung des Hilfsdampfes für den Niederdruckzylinder erfolgt durch kleine Bohrungen im Schieberspiegel desselben, s. Abb. 23, welche durch den Schieber selbst gesteuert werden, und zwar so, daß sie nur bei den

[1]) Z. d. V. d. I. 1894 S. 1498. Annalen 1894 S. 179, 1897 II S. 43. Organ 1894 S. 66.

größten »Anfahrfüllungen« geöffnet werden, bei den »Fahrtfüllungen«, unter 60 vH im Niederdruckzylinder bezw. 50 vH im Hochdruckzylinder, aber überhaupt geschlossen bleiben. Die Wirkungsweise einer nach diesen Grundsätzen arbeitenden Steuerung ist aus der in Zahlentafel 12 wiedergegebenen Steuerungsablehrung[1]) für die C-Verbund-Güterzuglokomotive Gruppe VIId der Badischen Staatsbahn[2]) zu ersehen. Bemerkenswert ist, daß die größte Füllung von 90 vH für den Hochdruckzylinder durch eine 13 mm tiefe Einkerbung in die Einlaßkante des Schiebers bewirkt wird; die größte Füllung an der Schieberkante selbst beträgt nur 85 vH. Die Anfahrbohrungen für den Niederdruckzylinder liegen um 18½ mm hinter der Kanalkante zurück; sie werden daher freigelegt erst bei Auslenkungen des Schiebers aus der Mitte von 18½ + 25 (= Größe der Einströmdeckung) = 43½ mm. Diese werden erreicht bei Niederdruckfüllungen von 60 vH ab. Ein Eröffnen der Anfahrbohrungen durch die Ausströmkante des Schiebers wird durch eine dieselben deckende Rippe verhindert.

Zahlentafel 12.
Steuerungstafel der C Verbund-Güterzuglokomotive Gruppe VIId der Badischen Staatsbahn.
Vorwärtsgang.

Hochdruckzylinder								Niederdruckzylinder						Anfahrkanal			
Füllung	lineares Voreilen	Auslenkung des Schiebers	Beginn der Expansion an der Schieberkante bei	Beginn der Expansion an der Einkerbung bei	Beginn der Ausströmung bei	Beginn der Kompression bei		Füllung	lineares Voreilen	Auslenkung des Schiebers	Beginn der Expansion bei	Beginn der Ausströmung bei	Beginn der Kompression bei	Beginn des Oeffnens bei	Kanal offen bei	Beginn des Schließens bei	Kanal geschlossen bei
vH	mm	mm	vH	vH	vH	vH		vH	mm	mm	vH	vH	vH	vH	vH	vH	vH
20	4 + 4 konstant	37½	20¼	40½	64½	67½	hinten	25	4 + 4 konstant	30¾	24	67¼	70	—	—	—	—
		37¼	20	42¼	67½	64½	vorn			31¼	25	70	67¼	—	—	—	—
30		40	30	49¾	71½	73¾	hinten	37		34½	37½	75	77¾	—	—	—	—
		39¾	30	51	73¾	71½	vorn			34	37½	77¾	75	—	—	—	—
40		44¾	41½	58½	77½	79¾	hinten	50		39	50	81	83½	—	—	—	—
		42½	40	60	79¾	77½	vorn			37½	50	83½	81	—	—	—	—
50		49¼	50	65	82	83¾	hinten	60		43¼	58¼	84¾	87	—	—	—	—
		46¼	50	67	83¾	82	vorn			41¼	60	87	84¾	—	—	—	—
90		92	84¼	89½	95	96	hinten	90		88	88½	96½	96¾	1	4	69½	79¾
		85½	86	91	96	95	vorn			81½	90½	96¾	96½	1¼	6	71	81¾

Die Kräftewirkung der Gölsdorf-Anfahrvorrichtung für das Anfahren von der Stelle kann als völlig ausreichend angesehen werden, s. Abb. 13. Die Anfahrbohrungen bleiben geöffnet bis etwa 40° Kurbelwinkel; in dieser Stellung entwickelt der Hochdruckkolben, da er bei geschlossenen Anfahrbohrungen rückdruckfrei anzieht, bereits 6200 kg Anfahrzugkraft (= 0,53 Z_r). Bei etwa 100° Kurbelwinkel öffnet der Niederdruckschieber die Anfahrbohrungen; der nun auf den Hochdruckkolben wirkende Gegendruck vermindert entsprechend seine Kolbenkräfte. Dafür gelangt aber, sobald Hilfsdampf zuströmt, der Nieder-

[1]) Von der Generaldirektion der Badischen Staatsbahn gütigst überlassen.
[2]) Die Lokomotive. 1909 S. 26.

druckzylinder zur Mitwirkung. Die ungünstigste Kurbelstellung ist diejenige, bei welcher der Hochdruckschieber »hinter« dem Kolben abschließt und zwar wegen des nicht ausgeglichenen negativen Drehmomentes der Hochdruckseite während der Kurbelstellungen der Dehnungsperioden. Die kleinste Anfahrzugkraft bleibt mit $Z_{a\,min} = 4500$ kg ($= 0{,}38\ Z_r$) jedoch nur um ein Geringes hinter der gleichartigen Zwillingslokomotive mit $Z_{a\,min} = 4800$ kg $= 0{,}41\ Z_r$ zurück. Als größte mittlere Zugkraft ist aber auch bei Gölsdorf nur ein Z_{m1} von etwa $0{,}78\ Z_r$ verfügbar.

Die großen Vorzüge der Gölsdorf-Anfahrvorrichtung liegen in ihrer unbedingten Zuverlässigkeit und außerordentlichen Einfachheit, die kein bewegtes Glied zusätzlich erfordert, sodaß ein Versagen ausgeschlossen erscheint. Im Vergleich dazu sind ihre Nachteile nur als gering zu betrachten.

Die Anordnung der Anfahrkanäle im Schieberspiegel im Zusammenhang mit der notwendigen großen Höchstfüllung erfordert gegenüber gewöhnlichen Ausführungen größere und schwerere Schieber und dementsprechend kräftige äußere Steuerungsteile für die vermehrte Reibungs- und Beschleunigungsarbeit. Große Massen der äußeren Steuerung können aber, besonders bei schnellfahrenden Lokomotiven, sehr ungünstig einwirken auf das ruhige Arbeiten der Steuerung. Diese Uebelstände lassen sich jedoch erheblich herabmindern durch geschickte Anordnung der Anfahrkanäle, durch Anwendungen von Schieberentlastungen oder Kolbenschiebern und der schon besprochenen Einkerbungen[1]) zur Vergrößerung der Höchstfüllungen. Fühlbarer bleibt der Nachteil, daß die größte Fahrtfüllung auf 50 vH im Hochdruckzylinder beschränkt bleiben muß, damit die Anfahrkanäle geschlossen bleiben, um während der Fahrt Nachströmen von Frischdampf in den Verbinder zu verhindern. Die Dampfzylinder müssen daher bei Gölsdorf-Anfahrvorrichtung so groß bemessen werden, daß bereits dieser für Verbundlokomotiven als mäßig anzusehende Füllungsgrad genügt, die während der Fahrt regelmäßig auszuübende größte Zugkraft zu erzeugen.

Bei allen Anfahrvorrichtungen der 1. Art ist aus Gründen der Einfachheit verzichtet auf eine besondere Vorrichtung zur regelrechten Druckverminderung des Hilfsdampfes für den Niederdruckzylinder. Die Zuführung des Hilfsdampfes für den Niederdruckzylinder kommt bei diesen Anfahrvorrichtungen nur in Frage für das Anfahren von der Stelle, niemals für die Fahrt selbst. Die einzige Ausnahme bilden die selbsttätigen Reduktionsventile der Anfahrvorrichtungen von Henschel & Sohn (D. R. P. Nr. 22368/28569). Bei allen anderen wird die Druckverminderung in einfachster Weise dadurch erreicht, daß der Hilfsdampf durch ein Rohr mit engem Querschnitt, erfahrungsgemäß etwa 1,0 bis 1,25 vH der zu bedienenden Kolbenfläche, geleitet wird. Ein Ueberschreiten der zulässigen Höchstspannung im Verbinder zur Sicherung des Niederdrucktriebwerkes muß durch ein genügend großes Sicherheitsventil am Niederdruckschieberkasten verhindert werden. Das Innehalten eines bestimmten Spannungsverhältnisses wird dadurch bei schwankendem Kesseldruck naturgemäß nicht bewirkt, sondern nur die Spannung im Verbinder nach oben begrenzt.

Hauptgruppe II enthält die Anfahrvorrichtungen der sogenannten 2. Art, welche den Gegendruck auf den Hochdruckkolben während der ersten Umdrehung überhaupt beseitigen wollen durch Absperrung zwischen Hochdruck- und Niederdruckzylinder. Diese Anfahrvorrichtungen bilden einen Teil des Verbinders entsprechend Abb. 24. Als Absperrorgan selbst sind alle Ventilformen

[1]) Vergl. S. 20.

benutzt worden: Tellerventile (v. Borries[1])), dampfdicht schließende Klappen (Worsdell[2]), Büte[3])) und Kolben- bezw. Flachschieber (Pitkin[4]) bezw. Schichau[5])).

Bei den ersten Anfahrvorrichtungen dieser Art, Gruppe 4a, muß beim Anfahren die Absperrung jedesmal von Hand bewirkt werden, und zwar bevor der Hilfsdampf zum Niederdruckzylinder gelassen wird. Nur die Bütesche

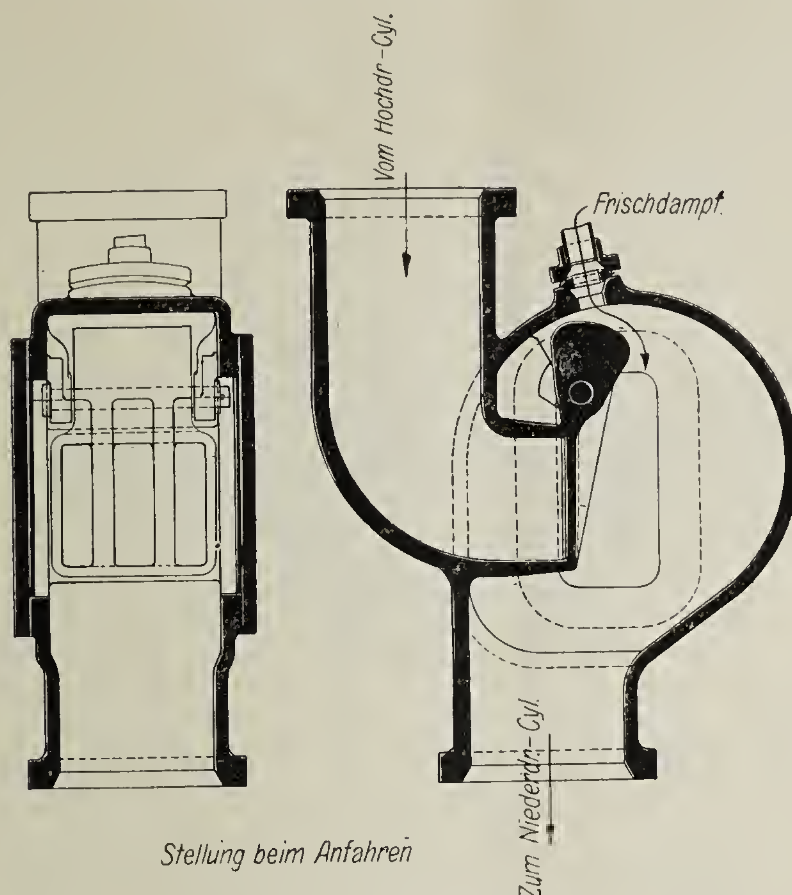


Abb. 24. Büte'sche Klappe.

Klappe[3]), Abb. 24, ist so ausbalanziert, daß sie in der Ruhe bereits Absperrstellung einnimmt. Selbsttätig jedoch erfolgt die Umschaltung auf Verbund durch die wachsende Spannung des Hochdruckauspuffdampfes im abgesperrten Verbinderraum.

Bei den völlig selbsttätigen Anfahrvorrichtungen der 2. Art, Gruppe 4b, erfolgt auch der Schluß des Absperrorganes selbsttätig durch den bei Oeffnen des Reglers unmittelbar zuströmenden Hilfsdampf. Die besten Anfahrvorrichtungen dieser Gruppe sind die allbekannten Ausführungen von v. Borries mit Tellerventil, Abb. 25, und von Schichau mit Gitterschieber, durch Differentialkolben gesteuert, welche zugleich als selbsttätige Druckminderer wirken, Abb. 26. Im Gegensatz zu diesen zeigen die zahlreichen amerikanischen Bauarten mit Verbinderabschluß allgemein so verwickelte Formen, daß sie für den Dauerbetrieb nicht als brauchbar angesehen werden können. Grundsätzlich entgegen der Mehrzahl der europäischen Ausführungen weisen sie sämtlich besonders gesteuerte selbsttätige Reduktionsventile auf. Aus Gründen der Einfachheit ist jedoch die Drosselungsart mittels enger Rohrleitung vorzuziehen, wobei die Be-

[1]) Z. d. V. d. I. 1896 S. 362. Annalen 1897 II S. 43.
[2]) Z. d. V. d. I. 1896 S. 362.
[3]) Annalen 1897 II S. 43.
[4]) Z. d. V. d. I. 1894 S. 825.
[5]) Z. d. V. d. I. 1894 S. 1387. Annalen 1897 II S. 42.

grenzung des Höchstdruckes für den Hilfsdampf durch Sicherheitsventil am Verbinder erfolgt. Der Höchstdruck wird bei den Anfahrvorrichtungen der 2. Art am besten direkt nach dem Verhältnis der Kolbenflächen bemessen, um für das Anfahren von der Stelle die größtmöglichen Anfahrzugkräfte zu erhalten. Diese sind natürlich dieselben wie bei der gleichartigen Zwillingslokomotive.

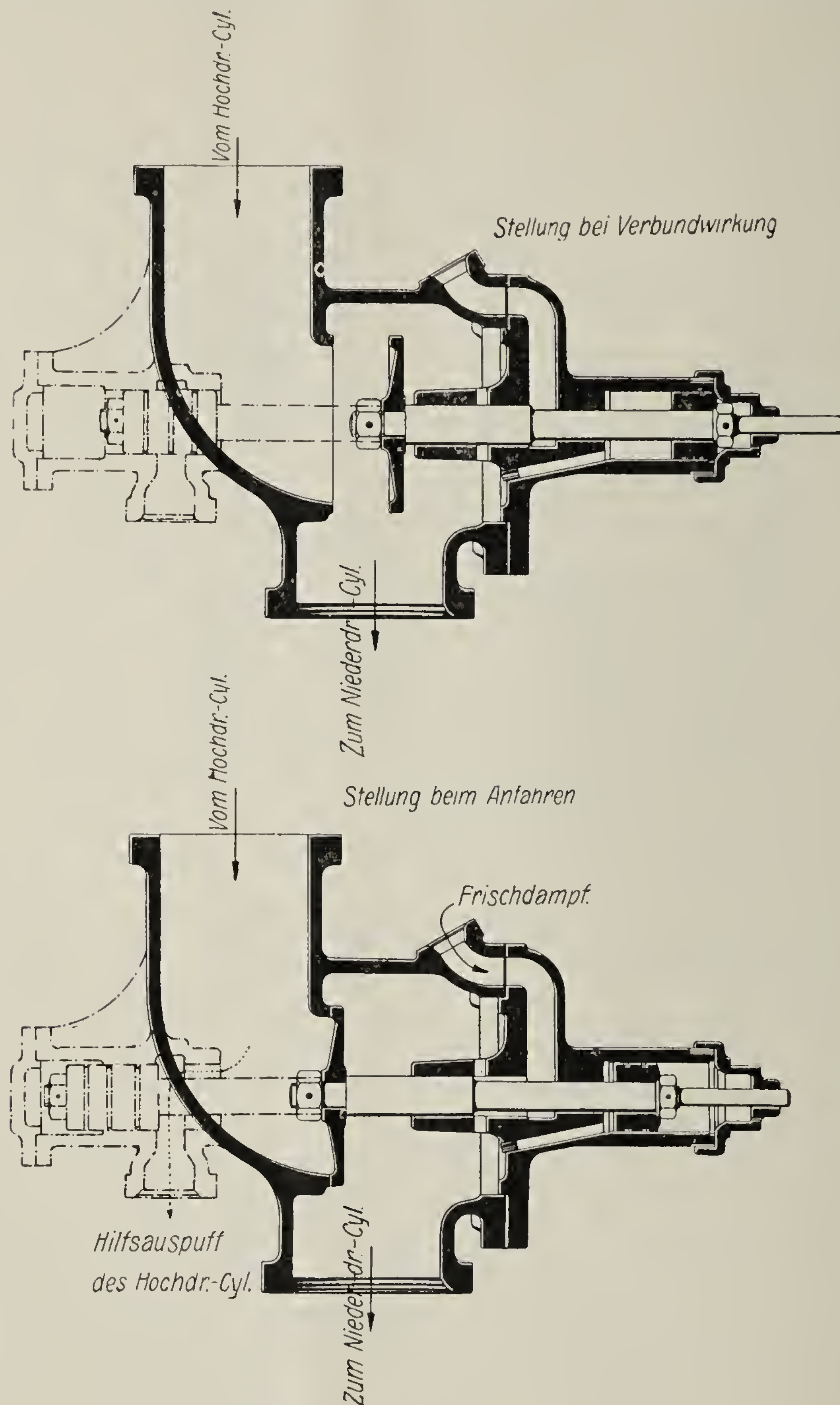


Abb. 25. Selbsttätiges Anfahrventil 2. Art von v. Borries. (Strichpunktiert: selbsttätiges Wechselventil mit Hilfsau-puff für den Hochdruckzßlinder D. R. P. Nr. 114787).

Die größte mittlere Zugkraft Z_{m1} entspricht jedoch nur während des 1. Arbeitsspieles derjenigen der Zwillingslokonotive; nach der Umschaltung auf Verbundwirkung ist Z_{m1} nicht größer als bei den Anfahrvorrichtungen der 1. Art, s. Abb. 14.

Die sichere Wirkung aller Anfahrvorrichtungen mit Verbinderabschluß, besonders der ganz selbsttätigen, ist völlig abhängig von dem störungsfreien

Arbeiten des Abschlußorganes. Das Anfahren von der Stelle kann mit Sicherheit nur dann erfolgen, wenn bei Zuführung des Hilfsdampfes für den Niederdruckzylinder das Abschlußorgan unmittelbar die Trennung zwischen beiden Zylindern bewirkt. Gelangt Frischdampf in den vom Niederdruckzylinder abzusperrenden Verbinderteil, so wirkt er hier als Gegendruck auf den Hochdruckkolben. Das Anfahren von der Stelle erfolgt dann, da bei den Anfahrvorrichtungen mit Verbinderabschluß Druckausgleich für den Hochdruckkolben nicht vorgesehen ist, nur mit Zugkräften, die nicht größer sind als bei den einfachsten Anfahrvorrichtungen der Gruppe 1, welche die ungünstigste Kräfteentwicklung mit

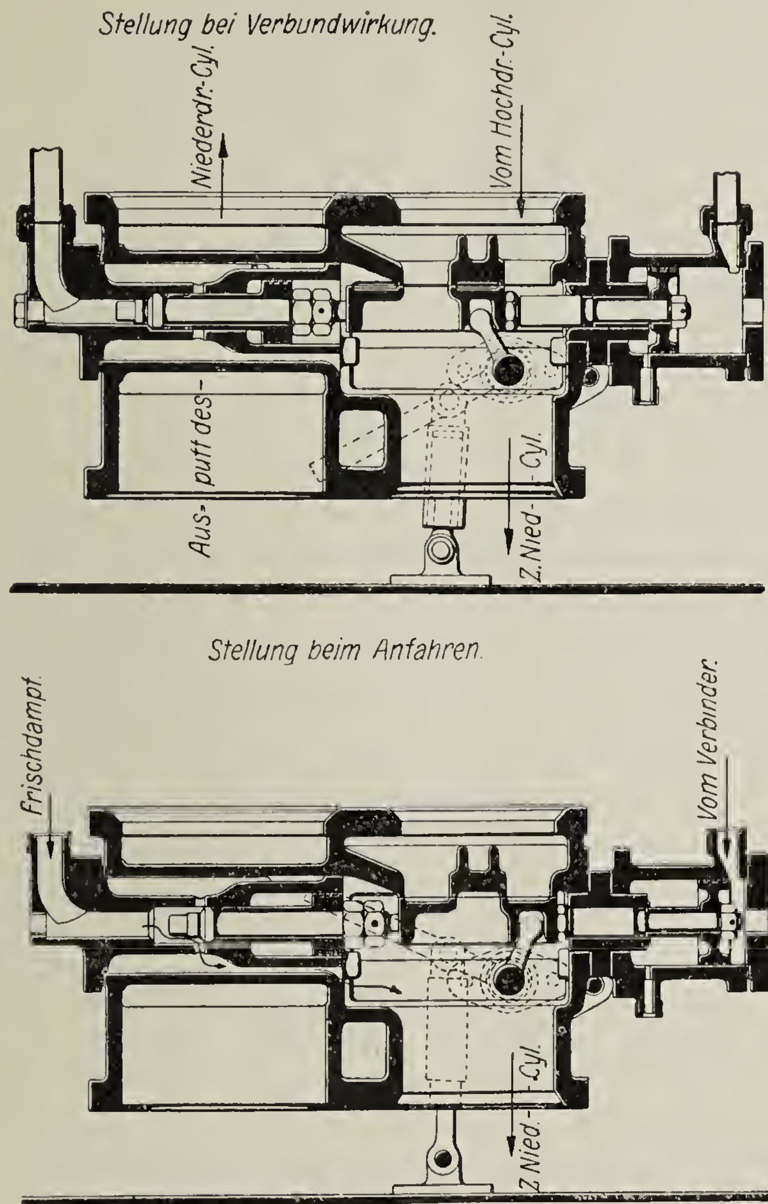


Abb. 26. Selbsttätiges Anfahrventil 2. Art von Schichau.

$Z_{a\,min} = 0$ ergaben; vergl. in Abb. 14 die Schaulinie der Anfahrzugkräfte bei Versagen der Abschlußvorrichtung.

Ebensowenig wird die beabsichtigte Wirkung erreicht, wenn sogleich während des Anfahrens Schleudern erfolgt. Dann ist augenblicklich der abgesperrte Verbinderteil durch den heftigen Auspuff des Hochdruckzylinders mit Dampf erfüllt und die die Umschaltung bewirkende Spannung erreicht. Das Abschlußorgan wird völlig zur Unzeit geöffnet und bewirkt Umschaltung auf Verbund, bevor die Lokomotive überhaupt von der Stelle gekommen ist. In der Regel muß zurückgedrückt werden, um sie von neuem für das Anfahren vorzubereiten. Während der Fahrt darf ferner das Abschlußorgan durch schwan-

kende Verbinderspannungen zur Vermeidung von Dampfverlusten und Störungen des Arbeitsvorganges nicht dazu veranlaßt werden, Zwischenstellungen einzunehmen. In dieser Hinsicht weniger befriedigt haben die Abschlußvorrichtungen mit Tellerventilen. Die beim Umstellen derselben infolge ihrer großen Massen unvermeidlichen schweren Schläge machten ein dauerndes Dichthalten fast unmöglich; nur als Schieber ausgebildete Abschlußorgane haben sich als betriebsicher erwiesen.

Diese Uebelstände der unsicheren Wirkungsweise und der auf das erste Arbeitspiel beschränkten Zwillingszugkraft gaben die Veranlassung, diese Anfahrvorrichtungen mit einem zuschaltbaren Auspuff für den Abdampf des Hochdruckzylinders zu versehen. Diese, besonders in Amerika[1]) ausgeführten Anfahrvorrichtungen, Hauptgruppe III, sind in bezug auf den Abschluß zwischen den Zylindern völlig selbsttätig wie vorher. Dem Willen des Führers ist es aber überlassen, erforderlichenfalls durch Zuschaltung des Hilfsauspuffes (in Amerika bezeichnenderweise »emergency-valve — Notfallventil« genannt) vollständigen Wechsel in Zwillingswirkung herbeizuführen. Letzteres ist in der Regel aber nicht in Fahrt möglich, sondern nur während des Anfahrens. Diese Anfahrvorrichtungen gewährleisten zwar störungsfreies Anfahren, sind aber alle so kompliziert und umständlich in der Handhabung, daß sie nur als »Notbehelf« angesehen werden können.

Will man für das Anfahren wie auch jederzeit in Fahrt für Bedarfsfälle Zwillingswirkung unbeschränkt ausüben können, so sind vollständige Wechselvorrichtungen, die Anfahrvorrichtungen der sogenannten 3. Art, Hauptgruppe IV, anzuwenden.

Die dann zur Verfügung stehenden Zugkräfte entsprechen in jedem Fall denen der gleichartigen Zwillingslokomotive. Dieses Radikalmittel vollständigen Wechsels in den Arbeitsweisen scheint nach der ersten Ueberlegung alle Schwierigkeiten zu beseitigen. Und es liegt die Frage nahe, warum Wechselvorrichtungen nicht ausschließlich zur Anwendung gekommen sind, zumal sie schon zu Beginn der ganzen Entwicklung von Mallet[2]) angegeben worden sind. Der Grund dafür liegt darin, daß die Wechselvorrichtungen bereits einen im Wesen ihrer Bauart begründeten Uebelstand in sich einschließen. Sie bilden notwendig einen Teil des Verbinders, so daß beim Fahren mit Verbundwirkung, d. h. bei der normalen Arbeitsweise, der aus dem Hochdruckzylinder austretende Dampf auf seinem Wege zum Niederdruckzylinder unbedingt das Wechselventil durchströmen muß. Durch die innerhalb desselben unvermeidlichen Richtungs- und Querschnittsveränderungen erfährt der Verbinderdampf einen erheblich vergrößerten Ueberströmwiderstand gegenüber Verbundlokomotiven mit glatten, durch Anfahrvorrichtungen nicht verbauten und beengten Verbindern. Dieser vermehrte Ueberströmwiderstand hat erhebliche Verluste an Dampfenergie zur Folge, d. h. eine ziemlich beträchtliche Herabminderung der sonst mit Verbundwirkung erzielbaren wirtschaftlichen Vorteile. Aus Vergleichsfahrten der Direktion Hannover[3]) ist festgestellt, daß der Kohlenverbrauch der Zweizylinder-Verbundlokomotiven der Gattung S_3, welche mit Wechselventilen ausgerüstet waren, bis zu 6 vH mehr betrug als bei solchen mit einfachem Verbinderabschluß durch Tellerventile, welche den Ueberströmwiderstand nur unwesentlich vergrößern. Will man Wechselventile anwenden, so muß diese Einschränkung in

---

[1]) Brückmann, Verbundlokomotiven in Nordamerika, Z. d. V. d. I. 1894.
[2]) Z. d. V. d. I. 1896 S. 7.
[3]) Z. d. V. d. I. 1902 S. 1069.

der wirtschaftlichen Ausnutzung der Verbundwirkung in Kauf genommen werden. Durch geschickte Konstruktionen müssen diese Verluste jedoch so klein als möglich gehalten werden.

In der Wirkungsweise stimmen alle Wechselvorrichtungen in den Grundzügen überein. Bei Zwillingswirkung ist der Hochdruckzylinder gegen den Niederdruckzylinder abzusperren, der Abdampf des ersteren zum Blasrohr zu leiten und letzterem Frischdampf von verminderter Spannung zuzuführen. Bei Verbundwirkung muß die regelrechte Verbindung zwischen beiden Zylindern wiederhergestellt, der Hilfsauspuff und die Frischdampfleitung aber abgeschlossen werden.

Der Wechsel in den Arbeitsweisen muß dem Willen des Führers unterstellt sein, um jederzeit Zwillingswirkung anwenden zu können. Nur das Wechselventit von v. Borries nach D. R. P. Nr. 114787[1]) bewirkt die Umschaltung auf Verbund selbsttätig durch die wachsende Verbinderspannung, Gruppe 6. Dieses Wechselventil ist im Wesen nichts anderes als eine Weiterbildung der selbsttätigen Anfahrvorrichtung zweiter Art von v. Borries nach D. R. P. Nr. 68637, welcher in dem Bestreben, die Zwillingswirkung beim Anfahren etwas länger aufrecht zu erhalten, für den Hochdruckzylinder ein Hilfsauspuff von beschränkter Weite hinzugefügt ist, wie in Abb. 25 angedeutet. Während der Fahrt kann ein Wechsel in Zwillingswirkung aber nicht vorgenommen werden, so daß diese Anfahrvorrichtung als vollständige Wechselvorrichtung nicht betrachtet werden kann.

Bei den eigentlichen Wechselventilen erfolgt die Umschaltung stets durch den Führer. Unrichtig ist es, wenn man die Umschaltung in Abhängigkeit von der Umsteuerung[2]) erfolgen läßt, Gruppe 7, wobei jedesmal beim Verlegen der Steuerung in die Endlagen gleichzeitig das Wechselventil auf Zwillingswirkung umgestellt wird. Dadurch entstehen einerseits bei bestimmten Füllungsgraden, etwa 65 bis 70 vH, Zwischenstellungen des Wechselorganes selbst, bei denen weder mit reiner Verbund- noch Zwillingswirkung gefahren werden kann; die entsprechenden Füllungsgrade scheiden daher für die Benutzung überhaupt aus. Andererseits ist oberhalb derselben stets selbsttätig Zwillingswirkung eingeschaltet, so daß bei Füllungsgraden über 70 vH nicht mehr mit Verbundwirkung gefahren werden kann. Diese Beschränkung in der Benutzung der Verbundwirkung ist unvorteilhaft; dieselbe ist immer soweit als irgend möglich auszunutzen. Erst wenn ihre größte Zugkraft nicht mehr ausreicht, soll die unwirtschaftlichere Zwillingswirkung zur Anwendung kommen.

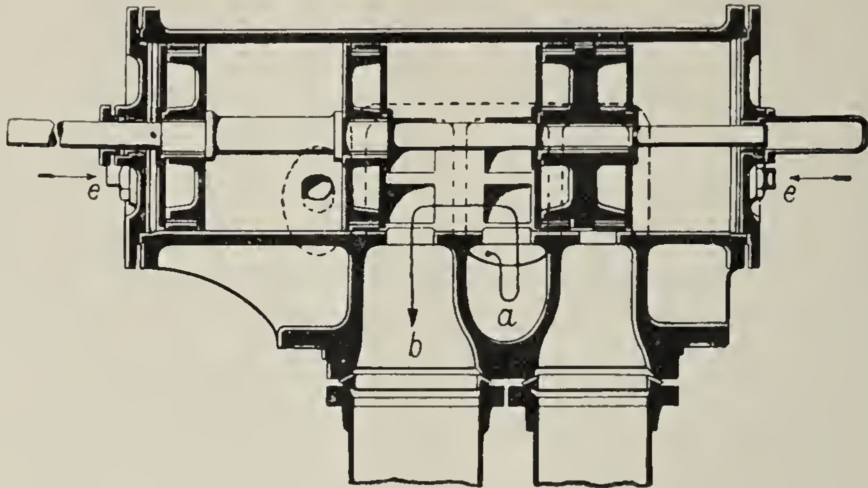
Die Umschaltung muß daher beliebig von Hand geschehen, und zwar entweder nur mittelbar mit Hilfe eines vorgespannten Kraftmittels, Dampf oder Druckluft, oder durch Handzug direkt. Bei den ersteren, Gruppe 8a, hat der Führer nur das Steuerventil zu bedienen; das Umstellen der Wechselschieber selbst erfolgt durch Pressungsenergie, s. Abb. 27 Wechselventil von Mallet[3]). Die Bewegungen der Wechselschieber sind aber dabei nicht beherrscht; heftiges Anschlagen der Kolben gegen ihre Deckel und dadurch verursachte Brüche und Zerstörungen ergaben sich als unvermeidliche Folge. Aus den gleichen Gründen hat es sich nicht bewährt, nach v. Borries zu Differentialdoppelkolben[4]) durchgebildete Wechselorgane, Abb. 28, zugleich zu benutzen als selbsttätige

---

[1]) E. T. d. G. 2. Aufl. S. 373.
[2]) Maffei, Z. d. V. d. I. 1897 S. 101.
[3]) Z. d. V. d. I. 1896 S. 363. E. T. d. G. 2. Aufl. S. 375.
[4]) Z. d. V. d. I. 1896 S. 365. Annalen 1896, I, S. 156; 1897, II, S. 47.

Druckverminderer, welche bei schwankendem Kesseldruck jederzeit das richtige Verhältnis zwischen Kessel- und Hilfsdampfspannung aufrecht erhalten sollen. Ein solcher Differentialkolben kann während der Fahrt mit Zwillingswirkung keine bestimmte feste Stellung einnehmen, sondern er arbeitet dem jeweiligen Kesseldruck entsprechend ständig hin und her, wobei plötzliche Druckschwankungen, besonders während des Leerlaufes und bei Schließen und Wiederöffnen

Stellung bei Verbundwirkung.



a : vom Hochdr.-Cyl.
b : zum Niederdr.-Cyl.
c : Frischdampf für Niederdr.-Cyl.
d : vom Hochdr.-Cyl. zum Blasrohr.
e : Eintritt vom Umsteuerdampf.

Stellung bei Zwillingswirkung.

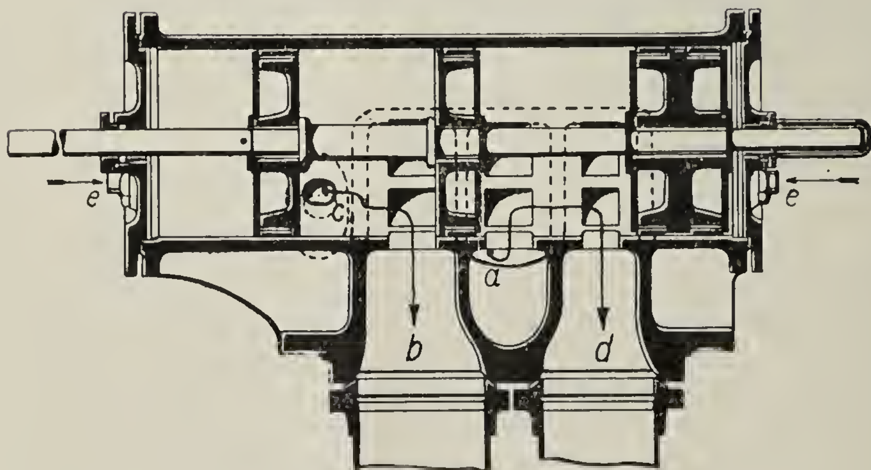


Abb. 27. Wechselventil von Mattet mit Dampfumsteuerung.

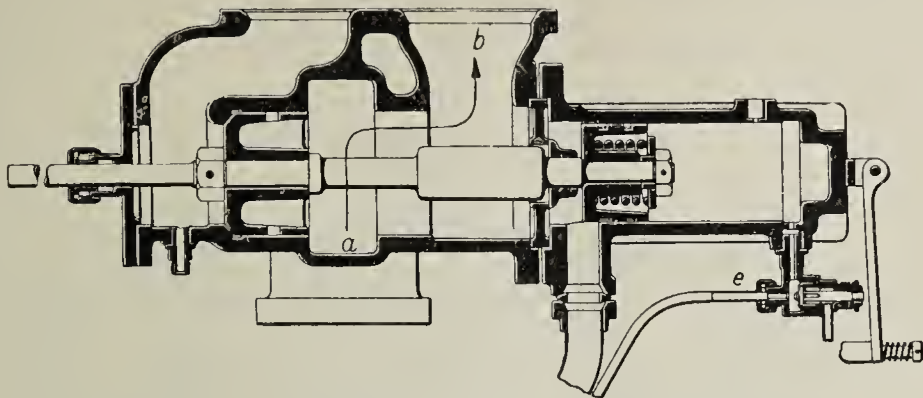
des Reglers, heftige stoßende Bewegungen der schweren Doppelkolben veranlassen. Man hat diese Uebelstände dadurch zu mildern gesucht, daß die Bewegung der Differentialkolben nicht ausschließlich dem Dampfdruck überlassen wird. Bei dem nach D. R. P. Nr. 95148/117209 abgeänderten Wechselventil von v. Borries[1]), Abb. 29, erfolgt das Umstellen unter Dampf zwar mit Zuhilfe-

[1]) Annalen 1897, II, S. 50 und 218. E. T. d. G. 2. Aufl. S. 377.

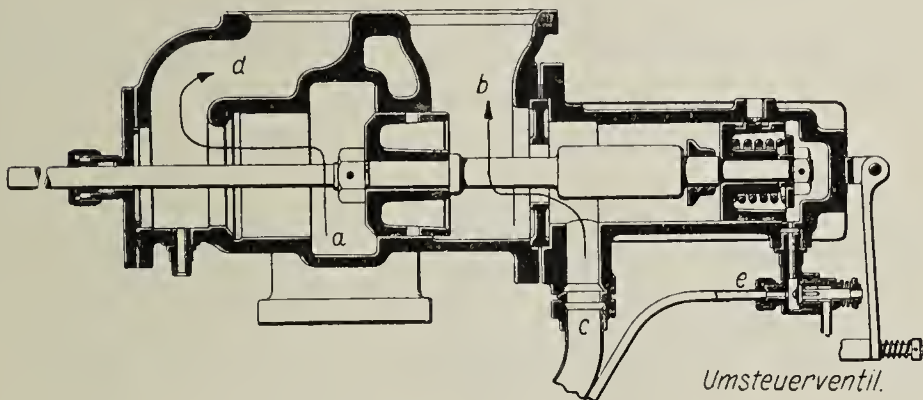
nahme seiner Spannung, aber folgend der Bewegung einer vom Führer bedienten Handhabe; bei Leerlauf von Hand allein. Auf der Kolbenstange, die mit dem Differentialkolben nicht starr verbunden ist, sind außerdem die Reduzierbewegungen begrenzt, um Anschlagen und überstarke Bewegungen zu verhindern.

Alle diese Einrichtungen haben auf die Dauer nicht befriedigen können. Gute Ergebnisse sind im Betriebe nur mit solchen Wechselvorrichtungen erreicht worden, bei denen die Umschaltung völlig ohne Einwirkung des Dampfdruckes allein durch Handzug geschieht, Gruppe 8b. Die Wechselorgane selbst

Stellung bei Verbundwirkung.



a · vom Hochdr.-Cyl.
b · zum Niederdr.-Cyl.
c Frischdpf. für Niederdr.-Cyl.
d vom Hochdr.-Cyl. zum Blasrohr.
e: Zutritt von Umsteuerdpf.



Stellung bei Zwillingswirkung

Abb. 28. Wechselventil von v. Borries mit Differentialkolben mit Dampfumsteuerung.

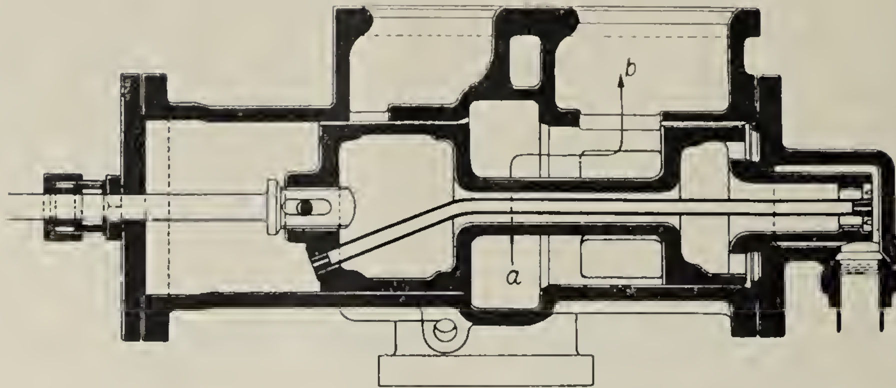
sind entweder völlig entlastete Kolbenschieber mit Axialbewegung oder (seltener) Drehschieber [1]). Sie haben nur zwei bestimmte feste Stellungen, die eine für Zwillings-, die andere für Verbundwirkung. Als selbsttätige Druckverminderer können solche Wechselorgane naturgemäß nicht mehr benutzt werden. Will man auf eine exakte Drosselung nicht verzichten, die bei Wechselvorrichtungen am ehesten am Platze wäre, da die Anwendung der Zwillingswirkung bei diesen auch für die Fahrt in Frage kommt, so muß dieselbe bewirkt werden durch besondere dem eigentlichen Wechselorgan vorangeschaltete Drosselventile [2]).

---

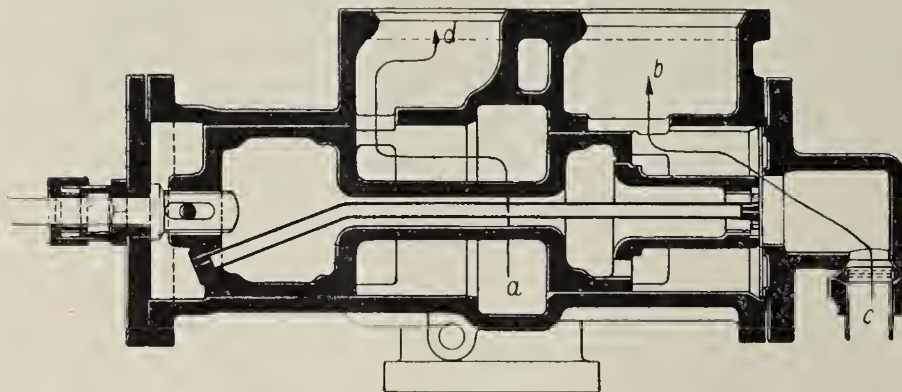
[1]) Drehschieber der Hauptwerkstätte Grunewald. Annalen 1897, II, S. 49. Drehschieber von Gölsdorf. Z. d. V. d. I. 1896 S. 366.

[2]) Wechselventil der Direktion Magdeburg. E. T. d. G. 2. Aufl. S. 376.

Stellung bei Verbundwirkung.



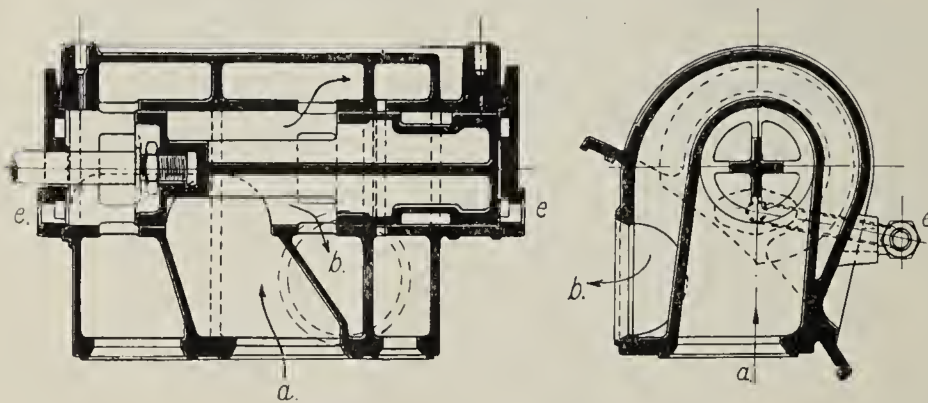
Stellung bei Zwillingswirkung.



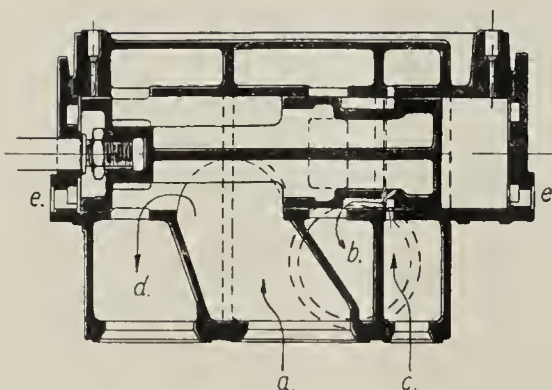
a: vom Hochdr.-Cyl
b: zum Niederdr.-Cyl.
c: Frischdampf für Niederdr.-Cyl
d: vom Hochdr.-Cyl. zum Blasrohr.

Abb. 29. Wechselventil von v. Borries mit Differentialkolben mit Handverstellung.

Stellung bei Verbundwirkung.



Stellung bei Zwillingswirkung.



a: vom Hochdr.-Cyl
b. zum Niederdr.-Cyl.
c: Frischdpf. für Niederdr.-Cyl.
d: vom Hochdr.-Cyl. zum Blasrohr
e: Entlüftung.

Abb. 30. Wechselventil von Dultz.

Die Erfahrung hat aber gelehrt, daß auch bei Wechselventilen selbsttätige Druckverminderer entbehrt werden können und die Anwendung einer engen Rohrleitung für Zuführung des Frischdampfes völlig genügt.

Die am meisten verbreitete Wechselvorrichtung dieser Art ist das Wechselventil von Dultz[1]), Abb. 30. Es besteht aus einem doppelten Gehäuse mit drei getrennten Kammern, welche durch einen entlasteten und allein von Hand verstellten dreiteiligen Kolbenschieber entsprechend der beabsichtigten Arbeitsweise miteinander in Verbindung gebracht werden. Das Dultz-Ventil hat sich im Betriebe infolge seiner großen Einfachheit, leichten Bedienung und zuverlässigen Wirkungsweise überall gut bewährt; bei der Preußischen Staatsbahn ist es die Einheitsform der Anfahrvorrichtung aller Zweizylinder-Verbundlokomotiven geworden.

d) Bedingungen für eine vollkommene Anfahrvorrichtung für Zweizylinder Verbundlokomotiven.

Aus den vorhergehenden Untersuchungen lassen sich die folgenden Bedingungen zusammenstellen, denen die Anfahrvorrichtungen bei Zweizylinder-Verbundlokomotiven genügen müssen:

A) Inbezug auf Kräftewirkung:

1) Für das Anfahren von der Stelle darf in keiner Kurbellage, entsprechend der gleichartigen Zwillingslokomotive (vergl. S. 13) die kleinste Anfahrzugkraft kleiner sein als $Z_{a\,min} = 0{,}4$ bis $0{,}5\ Z_r$.

2) Die größte mittlere Zugkraft für das weitere Anfahren muß wie bei der gleichartigen Zwillingslokomotive die Reibungsgrenze mit $Z_{m1} = 0{,}9$ bis $1{,}0\,Z_r$ erreichen.

3) Für Bedarfsfälle muß auch während der Fahrt eine größte Zugkraft Z_{me} ausgeübt werden können gleich derjenigen der gleichartigen Zwillingslokomotive; vergl. Zahlentafel 11 S. 33.

B) Inbezug auf konstruktive Durchbildung:

1) Die Anfahrvorrichtung muß bei jedem mit der äußeren Steuerung erreichbaren Füllungsgrad störungsfreie Anwendung der Verbundwirkung gestatten.

2) Während der Fahrt mit Verbundwirkung sollen keine bewegten Teile eingeschaltet sein, die nicht auch sonst vorhanden wären.

3) Die Anfahrvorrichtungen sollen durch ihr Vorhandensein bei Benutzung der Verbundwirkung keine Einschränkung in der vollen Ausnutzung ihrer wirtschaftlichen Vorteile durch Drosselung und Abkühlung des Verbinderdampfes verursachen.

4) Die Wirkungsweise muß absolut zuverlässig, die Bedienung so einfach als möglich sein.

Anfahrvorrichtungen, welche allen diesen Bedingungen gerecht würden, gibt es für Zweizylinder-Verbundlokomotiven nicht. In der Anwendung der Anfahrvorrichtungen lassen sich daher bei den einzelnen Bahnverwaltungen zwei grundsätzlich voneinander verschiedene Richtungen feststellen. Unvereinbar sind die inbezug auf die größten mittleren Zugkräfte gestellten Bedingungen (A, 2 und 3) mit der Forderung unbehinderter Ausnutzung der wirtschaftlichen Vorteile der Verbundwirkung (B, 3). Erstere können völlig nur durch Wechsel-

[1]) Z. d. V. d. I. 1896 S. 366. Annalen 1897, II, S. 46 u. 49. E. T. d. G 2. Aufl. S. 374.

vorrichtungen erfüllt werden. Da diese jedoch stets einen Teil des Verbinders bilden, so sind sie unvermeidlich die Ursache von Energieverlusten des überströmenden Dampfes. Die eine Gruppe der Bahnverwaltungen nimmt diese Verluste bei der Anwendung von Wechselventilen mit in Kauf, hat aber durch die Möglichkeit der Zwillingswirkung in jedem Falle die erforderlichen Zugkräfte zur Verfügung. So hat sich u. a. die Preußische Staatsbahn nach zahlreichen Versuchen für Wechselventile (der Bauart Dultz) als Anfahrvorrichtung für alle Zweizylinder-Verbundlokomotiven entschieden. Die andere Gruppe, insbesondere die Sächsischen, Oldenburgischen und Oesterreichischen Bahnen, ziehen es vor, zur Vermeidung jener Energieverluste Anfahrvorrichtungen der 1. Art nach Bauart Lindner III, Ranafier und Gölsdorf zu benutzen, die den Verbinder in keiner Weise beengen. Die volle Ausnutzung der wirtschaftlichen Vorteile der Verbundwirkung ist bei ihnen gewährleistet; auch für das Anfahren von der Stelle werden den Bedingungen völlig entsprechende Anfahrzugkräfte entwickelt. Während der Bewegung kann jedoch keine größere als die größte Verbundzugkraft ausgeübt werden, womit die gleichartige Zwillingslokomotive immer nur zu 75 bis 78 vH erreicht wird; vergl. Zahlentafel 10 S. 34/35. Zu beachten bleibt, daß bei Lindner und Gölsdorf die Ausübung der größten Verbundzugkraft (B, 1) noch mit gewissen Störungen verbunden ist (s. S. 43 u. 48).

Es ist nach vorstehendem erklärlich, daß für Zweizylinderlokomotiven die Verbundwirkung nicht so allgemein angewandt worden ist, als es eine Zeitlang scheinen konnte. Besonders in England und Amerika ist zähes Festhalten an der einfachen und überlastungsfähigen Zwillingslokomotive zu beobachten. Und bezeichnend ist es, daß seit der allgemeinen Anwendung des Heißdampfes überall, auch in Preußen, bei Zweizylinderlokomotiven die Verbundwirkung aufgegeben ist, weil ihre Mängel in bezug auf die Anfahrverhältnisse durch die allenfalls noch erzielbaren Dampfersparnisse nicht ausgeglichen werden; nur die Oesterreichische Staatsbahn als einzige Ausnahme hält auch bei Zweizylinder-Heißdampflokomotiven an der Verbundwirkung mit Anfahrvorrichtung nach Gölsdorf fest.

B) Die Anfahrverhältnisse der Vierzylinder-Verbundlokomotiven.

Bis zur Einführung überhitzten Dampfes sind die Vierzylinderlokomotiven fast ohne Ausnahme als Vierzylinder-Verbundlokomotiven gebaut worden (vergl. S. 23). Auch bei Heißdampf sind die Verhältnisse für Anwendung der Verbundwirkung bei Lokomotiven mit vier Zylindern günstigere geblieben als bei den Zweizylinderlokomotiven; denn es lassen sich die allgemein gesteigerten Kesselspannungen am weitesten nur mit Verbundwirkung ausnutzen. Die endgültige Lösung der Frage, »Heißdampf-Vierling« (mit einfacher Dampfdehnung) oder »Heißdampf-Vierzylinderverbund« ist aber noch nicht gegeben. Hingewiesen sei auf den Standpunkt der Preußischen Staatsbahn, die ihre neuen Typen schnellfahrender Lokomotiven für Hügellandstrecken als Vierlingslokomotiven (Gruppe $S_{10\,Zw}$)[1], für Flachlandstrecken als Vierzylinder-Verbundlokomotiven (Gruppe $S_{10\,Verb}$)[1] baut.

a) Die Anfahrvorgänge.

Die Anfahreigenschaften der Vierlingslokomotiven sind bereits bei den Lokomotiven mit einfacher Dampfdehnung besprochen. Für die Vierzylinder-

[1]) Hammer, S. 34/35. Die Lokomotive 1912 S. 62.

Verbundlokomotiven sind die Untersuchungen wieder für ein bestimmtes Beispiel durchgeführt und zwar für die 2-B-1 Vierzylinder-Verbundschnellzuglokomotive Gruppe S_7 (Hann. Bauart 1902)[1]) der Preußischen Staatsbahn. Zahlentafel 13 enthält die in Betracht kommenden Hauptabmessungen.

Zahlentafel 13.
Hauptabmessungen der 2-B-1 Vierzylinder-Verbundschnellzuglokomotive Gruppe S_7 (Hannoversche Bauart 1902) der Preußischen Staatsbahn.

Durchmesser der Hochdruckzylinder $d_h =$	2×360 mm
» » Niederdruckzylinder $d_n =$	2×560 mm
Kolbenhub $s = 2\,r =$	600 mm
Zylinderraumverhältnis $n =$	1 : 2,42
Treibraddurchmesser $D =$	1980 mm
Verhältnis $\frac{r}{l} =$	$\frac{1}{5{,}77}$
Höchstfüllung (mittlere) der Hochdruckzylinder $\varepsilon_{max\,h} =$.	70 vH
» » » Niederdruckzylinder $\varepsilon_{max\,n} =$.	82 vH
Kesselüberdruck $p_k =$	14 at
Reibungsgewicht $G_r =$	31,5 t
1. Charakteristik $C_1 = \frac{d_n^2 \cdot s}{D} =$	920,0
2. Charakteristik $C_2 = \frac{C_1}{G_r} =$	29,2

In Abb. 31, Linie *a* sind zunächst die Anfahrzugkräfte veranschaulicht, wenn ohne jedes Hilfsmittel angefahren wird. Dafür kommen allein die Hochdruckzylinder zur Wirkung, jedoch mit voller Kesselspannung als Nutzdruck, weil in diesem Falle für das Anfahren von der Stelle Gegendruck nicht vorhanden ist. Für jede Kurbelstellung wird zwar infolge der zwei um 90° gegen einander versetzten Hochdruckzylinder eine positive Anfahrzugkraft erzeugt; da die Hochdruckzylinder von Vierzylinder-Verbundlokomotiven aber nur verhältnismäßig kleine Durchmesser haben, so können sie allein erhebliche Anfahrzugkräfte nicht entwickeln. Bei den gewöhnlichen Höchstfüllungen von etwa 70 und 80 vH in den Hoch- und Niederdruckzylindern beträgt die kleinste Anfahrzugkraft in der ungünstigsten Kurbelstellung $Z_{a\,min} = 1200$ kg. Die Ausnützung der größten Reibungszugkraft von $Z_r = 7050$ kg erreicht dabei nur einen Wert von $c_{min} = 0{,}17$; vergl. Zahlentafel 14 über die Anziehkräfte der Vierzylinder-Verbundlokomotiven, S. 62/63.

Anfahrzugkräfte von ausreichender Größe können nur bei Mitwirkung der Niederdruckzylinder erreicht werden, denen daher für das Anfahren von der Stelle Frischdampf von verminderter Spannung zugeführt werden muß. Bei den Vierzylinder-Verbundlokomotiven kann die Druckverminderung ohne Rücksicht auf die Kräfteverteilung zwischen Hoch- und Niederdruckzylindern erfolgen, da die Gleichmäßigkeit derselben für beide Maschinenseiten durch die Doppelanordnung in allen Fällen von selbst gegeben ist. Die Hilfsdampfspannung beträgt in der Regel 6 bis 8 at, je nach Höhe des Kesseldruckes. Zuführung von Frischdampf in die Verbinder wird bei den Vierzylinder-Verbundlokomotiven an sich dieselben Nachteile ergeben wie bei den Zweizylinder-Verbundlokomotiven. Der zu den Hochdruckzylindern zurückfließende Hilfsdampf erzeugt auch hier negative Drehmomente (s. Abb. 31, Linie *b*), welche die Anfahrzugkräfte aus den Niederdruckzylindern, die im wesentlichen das Anfahren bewirken, entsprechend verkleinern. In den kritischen Kurbelstellungen gelangt aber der

[1]) Die Lokomotive 1909 S. 221. E. T. d. G. 2. Aufl. S. 398. Garbe S. 97.

zweite Hochdruckzylinder zur Mitwirkung, so daß die kleinste Anfahrzugkraft, bei Abschluß des linken Niederdruckzylinders, immerhin $Z_{a\,min} = 2350$ kg mit $c_{min} = 0{,}33$ beträgt. Die allgemein aufgestellte Bedingung, daß $Z_{a\,min}$ etwa 0,4 bis 0,5 Z_r sein soll, wird aber nicht erfüllt.

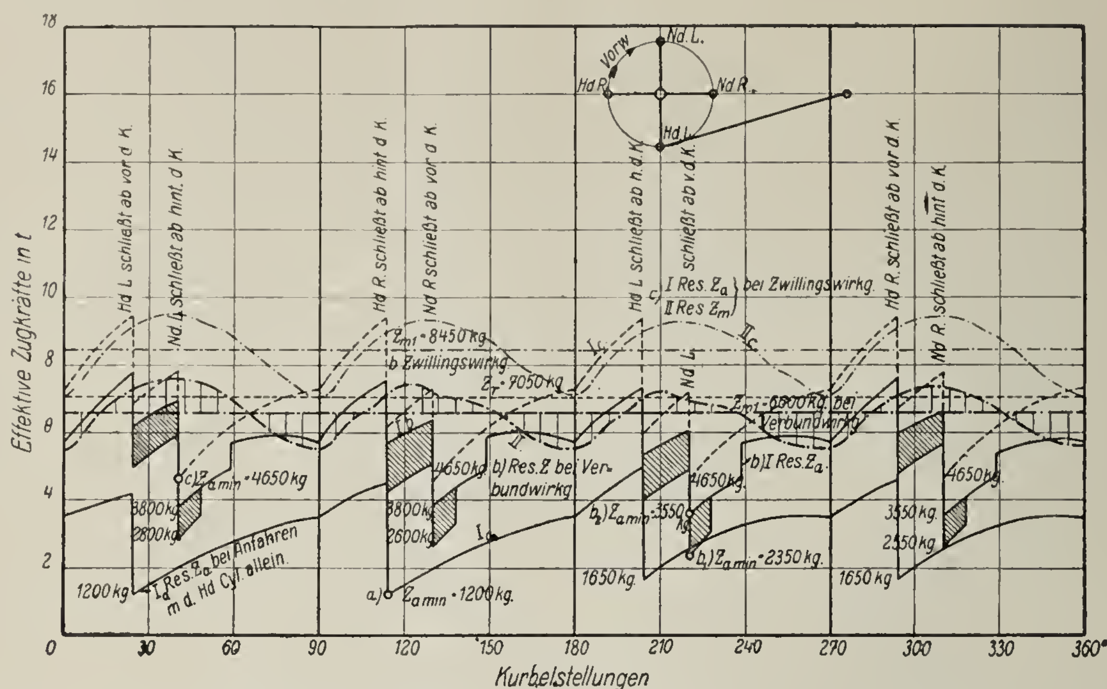


Abb. 31. Die Anziehkräfte am Treibradumfang der 2-B-1 Naßdampf-Vierzylinder-Verbund-Schnellzuglokomotive Gruppe S_7 (Hannoversche Bauart 1902) der Preußischen Staatsbahn.

$C_1 = 920{,}0$, $C_2 = 29{,}2$, $p_k = 14$ at, $\varepsilon_{max} = 70/82$ vH, $\frac{r}{l} = \frac{1}{5{,}77}$.

a) Anfahren mit den Hochdruckzylindern allein; b) Anfahren mit Hilfsdampf ($p_h = 6$ at) zu den Verbindern: 1) ohne, 2) mit Druckausgleich an den Hochdruckkolben; c) Anfahren mit Zwillingswirkung

Die notwendige Vergrößerung der Anfahrzugkräfte in den ungünstigen Kurbelstellungen, d. s. die Dehnungsperioden der Hochdruckzylinder, kann am einfachsten bewirkt werden durch den bereits bei den Zweizylinder-Verbundlokomotiven besprochenen Druckausgleich für die Hochdruckkolben. Die schraffierten Flächen in Abb. 31, Linie *b* veranschaulichen die dadurch erreichte Vergrößerung der Anfahrzugkräfte. Der kleinste Wert derselben wächst auf $Z_{a\,min} = 3550$ kg und ergibt nunmehr eine Ausnützung der größten Reibungszugkraft von $c_{min} = 0{,}50$. Die größte mittlere Zugkraft nach der ersten Umdrehung beträgt $Z_{m1} = 6600$ kg mit $c_{m1} = 0{,}94$. Beide Werte, $Z_{a\,min}$ und Z_{m1}, genügen also schon bei Anwendung dieser einfachen Hilfsmittel den gestellten Bedingungen.

Zur Vermeidung des Gegendruckes auf die Hochdruckkolben von der Verbinderspannung her sind auch bei den Vierzylinder-Verbundlokomotiven besondere Steuerungen für die Zuführung des Hilfsdampfes benutzt worden. Sollen negative Drehmomente aus den Hochdruckzylindern überhaupt nicht entstehen, so muß die Zuströmung des Hilfsdampfes jeweilig unterbrochen werden, bevor der entsprechende Hochdruckzylinder abschließt. Das kann bei Vierzylinder-Verbundlokomotiven mit 180° K. V. zwischen zusammengehörigen Hoch- und Niederdruckzylindern ohne weiteres geschehen, nicht aber bei den Zweizylinder-Verbundlokomotiven, weil bei 90° K. V. nach Abschluß des Hochdruckzylinders gerade der Niederdruckzylinder das Anfahren von der Stelle bewirken muß. Bei den ersteren erfolgt dasselbe nach Füllungsabschluß der Zylinder einer Maschinenseite mit denen der andern. Die kleinste Anfahrzugkraft tritt bei

Abschluß eines der beiden Hochdruckzylinder auf, s. Abb. 32, Linie *a*. Um günstige Werte dafür zu erhalten, sind die Höchstfüllungen der Hoch- und Niederdruckzylinder jedoch auf 85 vH vergrößert angenommen; $Z_{a\,min}$ beträgt dann 3750 kg mit $c_{min} = 0{,}53$ und die größte mittlere Zugkraft $Z_{m1} = 6900$ kg mit $c_{m1} = 0{,}98$.

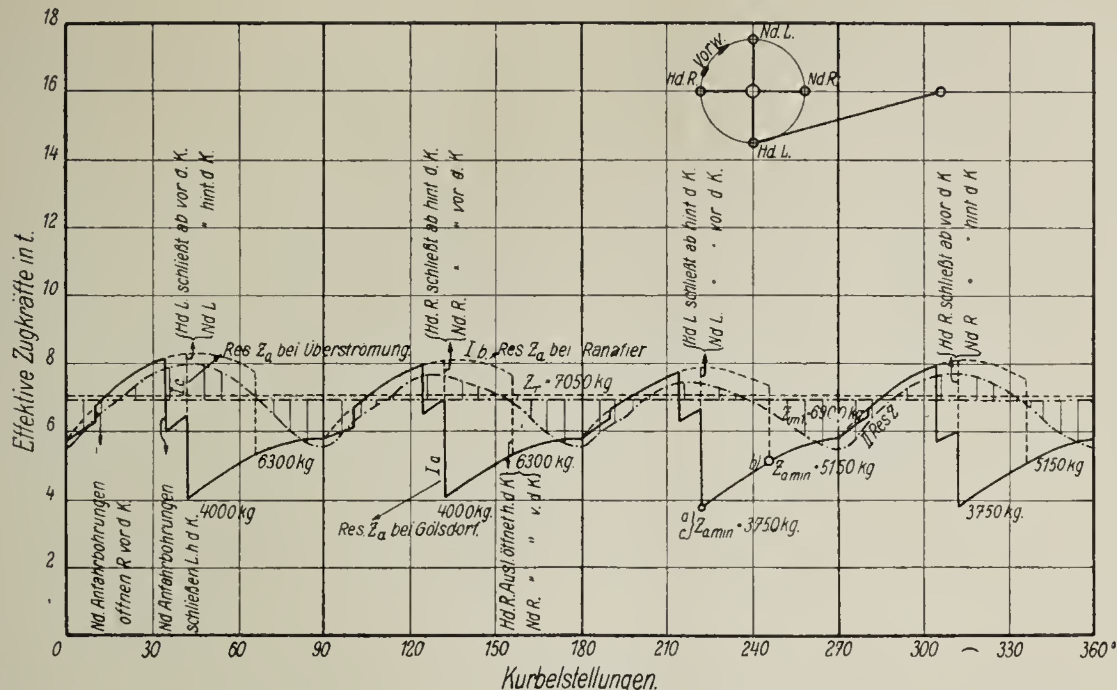


Abb. 32. Die Anziehkräfte am Treibradumfang der S_7 (Hannoversche Bauart 1902). Anfahren mit gesteuerter Zuführung des Hilfsdampfes ($p_h = 6$ at): a) nach Gölsdorf; b) nach Ranafier; c) Anfahren mittels Ueberströmvorrichtungen an den Hochdruckzylindern. $\varepsilon_{max} = 85/85$ vH.

Aehnliche Verhältnisse ergeben sich, wenn durch entsprechende Zusatzsteuerungen für alle Zylinder Nachfüllung gegeben wird, als wirksam bis zur Vorausströmung vorausgesetzt. Dann stehen alle Kolben bis nahezu gegen Hubende unter Arbeitsdruck, und für alle Kurbelstellungen ergeben sich große Anfahrzugkräfte, s. Abb. 32, Linie *b*. Selbst in den ungünstigsten Stellungen sinkt $Z_{a\,min}$ nicht unter 5150 kg, entsprechend $c_{min} = 0{,}73$. Die Nachfüllungen sind nur für das Anfahren von der Stelle zu benutzen, nicht aber während der Bewegung. Dafür behält Z_{m1} den gleichen Wert von 6900 kg mit $c_{m1} = 0{,}98$ wie zuvor.

Die K. V. von 180° bezw. 0° zwischen je einem zusammengehörigen Hoch- und Niederdruckzylinder gestattet die Zuführung des Frischdampfes für die Niederdruckzylinder auch in sehr einfacher Weise mittels Ueberströmvorrichtungen zwischen den Kolbenseiten der Hochdruckzylinder. Zum Anfahren wird der bei Oeffnen des Reglers den Hochdruckzylindern zuströmende Frischdampf durch Ueberströmleitungen von einer Kolbenseite auf die andere geleitet und von hier durch den Auslaß in die Verbinder bezw. Niederdruckschieberkästen, um dort als Nutzdruck zu wirken. Diese Art des Anfahrens ist nur möglich bei gegen- bezw. gleichläufigen Kolben. Für die Niederdruckzylinder kommt zur Wirkung ein Dampfdruck, entsprechend der Höhe der zulässigen Verbinderspannung, für die Hochdruckzylinder der Ueberschuß des Kesseldruckes gegenüber jener. Eine Ueberströmung in die Verbinder hört jeweilig auf, wenn der entsprechende Hochdruckzylinder abgeschlossen hat; von da bis zum Totpunkt erfolgt das Anfahren allein mit der anderen Maschinenseite, s. Abb. 32, Linie *c*.

Die Größe der kleinsten Anfahrzugkraft ist bei gegebener Verbinderspannung allein abhängig von der Größe der Höchstfüllung der Hochdruck-

zylinder, weil mit deren Abschluß für das Anfahren von der Stelle die Frischdampfzuführung zu den Zylindern der betreffenden Maschinenseite überhaupt aufhört. Es ist daher zweckmäßig, die Höchstfüllungen möglichst groß zu wählen. Bei $\varepsilon_{max} = 85$ vH in allen Zylindern ergibt sich bei dieser Art des Anfahrens als kleinste Anfahrzugkraft $Z_{a\,min}$ zu 3750 kg mit $c_{min} = 0{,}53$.

Alle bisher besprochenen Hilfsmittel ergeben also den gestellten Bedingungen völlig genügende Werte für $Z_{a\,min}$ und Z_{m1}, sodaß bei den Vierzylinder-Verbundlokomotiven die Anwendung vollständiger Wechselvorrichtungen nicht erforderlich wird. Die kleinste Anfahrzugkraft bei Zwillingswirkung in allen vier Zylindern würde sich nach Abb. 31, Linie c zu $Z_{a\,min} = 4650$ kg mit $c_{min} = 0{,}66$ ergeben, und zwar bei Abschluß der Niederdruckzylinder. Während der Perioden gemeinsamen Anziehens beider Maschinenseiten überschreiten die Anfahrzugkräfte die Reibungsgrenze aber bis zu 9400 kg. Auch die größte mittlere Zugkraft bei Zwillingswirkung liegt beträchtlich oberhalb der größten Reibungszugkraft; mit $Z_{m1} = 8450$ kg ($c_{m1} = 1{,}20$) ergäbe sich eine Beanspruchung von 278 kg/t Reibungsgewicht $\left(\mu = \frac{1}{3{,}6}\right)$. Das sind Zugkräfte, die regelrecht nicht mehr ausgeübt werden können und unvermeidlich ein Rucken und Schleudern zur Folge haben, sodaß nur mit gedrosseltem Eintrittsdampf angefahren werden könnte.

Die vorhergehenden Untersuchungen gelten entsprechend auch bei 0° K. V. zwischen den Hoch- und Niederdruckzylindern; die Anfahrverhältnisse gestalten sich im ganzen etwas ungünstiger als bei 180° K. V., weil bei gleichläufigen Kolben der ungünstige Einfluß der endlichen Länge der Treibstangen auf die Größe der kleinsten Anfahrzugkräfte sich nicht ausgleicht. Die Werte von $Z_{a\,min}$ bleiben daher bei gleicher Art des Anfahrens um 350 bis 450 kg gegenüber den Lokomotiven mit 180° K. V. zurück; die größten mittleren Zugkräfte Z_{m1} sind naturgemäß jedoch die gleichen; s. Zahlentafel 14.

Zahlen-

Kleinste effektive Anfahrzugkräfte $Z_{a\,min}$ und größte mittlere effek-

Verbundlokomotiven. Die Werte in Kursivschrift gelten

Nr.	Art des Anfahrens bezw. Art der Anfahrvorrichtung	Ueberdruck der Kesselspannung p_k at	Ueberdruck der Hilfsdampfspannung p_h at	größte mittlere Füllung ε_{max} H.-D.-Zyl. vH	größte mittlere Füllung ε_{max} N.-D.-Zyl. vH	größte Reibungszugkraft Z_r $\mu = 225$ kg t kg
1	ohne Hilfsmittel, allein mit den Hochdruckzylindern	14	—	70	82	7050
2a	mit Hilfsdampf zu den Niederdruckzylindern ohne Druckausgleich	»	6	70	82	»
2b	mit Hilfsdampf zu den Niederdruckzylindern mit Druckausgleich	»	»	70	82	»
3a	mit Hilfsdampf zu den Niederdruckzylindern ohne Druckausgleich	»	»	70	91	»
3b	mit Hilfsdampf zu den Niederdruckzylindern mit Druckausgleich	»	»	70	91	«
4a	mit gesteuerter Hilfsdampfzuführung nach Gölsdorf	»	»	85	85	»
4b	» » » » Ranafier	»	»	85	85	»
5	mit Hilfsdampf zu den Niederdruckzylindern durch Ueberströmvorrichtungen an den Niederdruckzylindern	»	»	85	85	»
6	mit Wechselvorrichtungen	»	»	70	82	»

b) Einteilung der Anfahrvorrichtungen für Vierzylinder-Verbundlokomotiven (Kurbeln unter 180° bezw. 0°).

I. Anfahrvorrichtungen der 1. Art.

Frischdampf hilfsweise in die Verbinder bezw. Niederdruckschieberkästen leitend.

Gruppe 1: Ohne Druckausgleich an den Hochdruckkolben:
- a) Frischdampf selbsttätig gesteuert
  - α) vom Regler:
    - v. Borries,
    - Zara;
  - β) durch mit der Umsteuerung gekuppelten Anfahrhahn:
    - Maffei;
  - γ) durch Füllventile an den Niederdruckzylindern:
    - Maffei;
- b) Frischdampf gesteuert durch von Hand bediente Frischdampfventile:
  - Badische Staatsbahn,
  - Paris-Lyon-Mittelmeerbahn,
  - Cole u. a. m.

Gruppe 2: Mit Druckausgleich an den Hochdruckkolben;
- a) durch Rückschlagventile auf Mitte Hochdruckzylinder:
  - v. Borries,
  - Schweizer Bundesbahnen;
- b) durch Ausgleichkanäle in den Hochdruckschiebern:
  - Lindner;
- c) durch Verbindung der Hochdruckkolbenseiten:
  - Maffei.

tafel 14.

tive Zugkräfte Z_{m1} (am Treibradumfang) der Vierzylinder-
für 0° K. V. zwischen Hoch- und Niederdruckzylinder.

Nr.	effektive Anfahrzugkräfte Z_a						größte mittlere effektive Zugkräfte Z_{m1}			
	bei Abschluß der		kleinste effektive Anfahrzugkraft $Z_{a\,min}$							
	H.-D.-Zyl. kg	N.-D.-Zyl. kg	$Z_{a\,min}$ kg	$\frac{Z_{a\,min}}{Z_r} = c_{min}$	k_{min}*	Verhältniszahl	Z_{m1} kg	$\frac{Z_{m1}}{Z_r} = c_{m1}$	a_{m1}*	Verhältniszahl
1	1200	—	1200	0,17	0,119	0,34				
2a	*3900*	*1950*	*1950*	*0,28*	*0,193*	*0,55*	*6600*	*0,94*	*0,513*	*1,0*
	4000	2350	2350	0,33	0,232	0,66	6600	0,94	0,513	1,0
2b	*5150*	*3200*	*3200*	*0,45*	*0,316*	*0,9*				
	5400	3550	3550	0,50	0,351	1,0				
3a	4000	4500	4000	0,58	0,396	1,15	6750	0,98	0,524	1,02
3b	5400	4500	4500	0,64	0,445	1,27				
4a	3750	5700	3750	0,53	0,371	1,06	6900	0,98	0,536	1,04
4b	—	—	5150	0,73	0,509	1,43				
5	*3300*	*3300*	*3300*	*0,47*	*0,325*	*0,93*	*6900*	*0,98*	*0,536*	*1,04*
	3750	3750	3750	0,53	0,371	1,06	6900	0,98	0,536	1,04
6	6000	4650	4650	0,66	0,460	1,31	8450	1,20	0,656	1,29

* bezüglich Niederdruckzylinder.

Gruppe 3: Unter Einfluß besonderer Hilfssteuerung für die Zuführung des Frischdampfes in die Verbinder;

a) bei Anwendung großer Höchstfüllungen ε_{max}:
Gölsdorf;

b) bei Nachfüllung aller Zylinder:
Lindner III,
Ranafier.

Gruppe 4: Durch Ueberströmvorrichtungen zwischen den Kolbenseiten der Hochdruckzylinder;

a) mittels besonderer Rohrleitungen:
Vauclain;

b) mittels des Druckausgleiches der Heißdampflokomotiven:
Württembergische Staatsbahn,
Preußische Staatsbahn (Henschel & Sohn, Cassel).

II. Anfahrvorrichtungen der 2. Art:

Die Anfahrvorrichtungen der 2. Art mit selbsttätigem Verbinderabschluß sind bei den Vierzylinder-Verbundlokomotiven nicht zur Anwendung gekommen.

III. Anfahrvorrichtungen der 3. Art:

Frischdampf für alle vier Zylinder bei vollständigem Wechsel von Verbund- in Zwillingswirkung.

Gruppe 5: Umschaltung der Wechselvorrichtungen und Zuführung des Frischdampfes sind zwei getrennte Operationen; die Umschaltung selbst erfolgt

a) unter Vorspann eines Kraftzylinders von Hand:
de Glehn;

b) von Hand unmittelbar:
Madrid-Zaragoza-Eisenbahn.

Gruppe 6: Umschaltung und Frischdampfzuführung erfolgen in einer Operation; die Betätigung geschieht

a) unter Vorspann eines Kraftzylinders von Hand:
Preußische Staatsbahn (Drehschieber);

b) von Hand unmittelbar:
Ungarische Staatsbahn (Zugschieber).

c) Beurteilung der wichtigsten Anfahrvorrichtungen für Vierzylinder-Verbundlokomotiven.

Bei den Vierzylinder-Verbundlokomotiven begegnen wir im allgemeinen denselben Anfahrvorrichtungen wie bei den Zweizylinder-Verbundlokomotiven mit Anpassung an die abweichenden Verhältnisse der ersteren. Besonders sind auf diese übertragen die Anfahrvorrichtungen der 1. Art in Hauptgruppe I (Frischdampf in die Verbinder leitend) und die Anfahrvorrichtungen der 3. Art in Hauptgruppe III (vollständige Wechselvorrichtungen).

Zahlreiche Bahnverwaltungen haben sich bei den Vierzylinder-Verbundlokomotiven auf die Anwendung einfachster Anfahrvorrichtungen beschränkt, die im wesentlichen allein aus einer Frischdampfleitung zu den Verbindern bestehen, Gruppe 1. Zu den bekanntesten Anfahrvorrichtungen dieser Art gehören die

selbsttätigen Anordnungen von v. Borries[1]) und Zara[2]) in Verbindung mit den Dampfeinlaßreglern. Beide stimmen in der Wirkungsweise völlig überein; beim ersten Oeffnen des Reglers strömt Frischdampf sowohl durch das Hauptdampfrohr zu den Hochdruckzylindern als auch durch eine Hilfsleitung zu den Verbindern, vergl. Abb. 16. Bei Weiteröffnen des Reglers wird die Hilfsleitung wieder abgeschlossen und die normale Arbeitsweise für die Fahrt eingestellt.

Maffei[3]) besorgt die Zuführung des Frischdampfes gleichfalls selbsttätig durch mit der Umsteuerung gekuppelte Anfahrhähne, welche beim Verlegen der Steuerung auf Füllungen über 70 vH geöffnet werden und die Hochdruckdampfkammern mit den Schieberkästen der Niederdruckzylinder in Verbindung setzen, um auf diese Weise letztere für das Anfahren mit Frischdampf zu versorgen. In gewissen Kurbelstellungen jedoch, bei welchen die Niederdruckschieber nur geringe Kanalquerschnitte freigeben, kann es verhältnismäßig lange dauern, bis die Spannung in den Zylindern selbst auf ausreichende Größe (etwa 6 bis 8 at) anwächst. Zur schnellen Auffüllung für das Anfahren verwendet Maffei daher vielfach seine besonderen »Füllventile«[4]), welche gleichfalls beim Verlegen der Steuerung geöffnet werden und Frischdampf direkt auf die Niederdruckkolben leiten.

Bei allen mit der Umsteuerung verbundenen Anfahrvorrichtungen ergibt sich aber der bereits mehrfach erwähnte Nachteil, daß von einem bestimmten Füllungsgrad ab, gewöhnlich 70 vH in den Hochdruckzylindern, jedesmal die Anfahrvorrichtung eingeschaltet ist und auch während der Fahrt Frischdampf in die Verbinder leitet, wodurch zwar keine Dampfverluste entstehen, wohl aber Störungen des Arbeitsvorganges durch zu hohe Verbinderspannungen. Sehr häufig sind daher nur von Hand bediente Frischdampfventile für die Anfahrleitung vorgesehen, welche nach Bedarf beim Anfahren vom Führer geöffnet werden können.

Die Kräftewirkung aller dieser Vorrichtungen entspricht der Abb. 31, Linie b_1 und ergibt als kleinste Anfahrzugkraft $Z_{a\,min}$ zu rd. 0,33 Z_r. Die größte mittlere Zugkraft wird durch Anfahrvorrichtungen der 1. Art nicht beeinflußt; bei den üblichen Zylinderabmessungen beträgt Z_{m1} etwa 0,94 bis 0,98 Z_r. Für $Z_{a\,min}$ können bei diesen einfachsten Anfahrvorrichtungen ausreichende Werte erhalten werden durch Vergrößerung der Füllungen; bei 90 vH Füllung der Niederdruckzylinder würde sich $Z_{a\,min}$ zu 0,58 Z_r ergeben, s. Zahlentafel 14, 3a S. 62/63.

Bei den gewöhnlichen Höchstfüllungen wird eine Vergrößerung der Anfahrzugkräfte am einfachsten erreicht durch Druckausgleich für die Hochdruckkolben zur Beseitigung der negativen Drehmomente (Gruppe 2). $Z_{a\,min}$ ergibt dann mit etwa 0,5 Z_r völlig ausreichende Werte, Abb. 31, Linie b_2. Zur Vornahme des Druckausgleiches erhält bei v. Borries[5]) die Frischdampfleitung zu den Verbindern weitere mit Rückschlagventilen versehene Anschlüsse nach den Mitten der Hochdruckzylinder, Abb. 33. Bei bedecktem Einströmkanal öffnen sich die entsprechenden Rückschlagventile und füllen die abgesperrten Hochdruckzylinderseiten auch während der Dehnungsperioden mit Frischdampf, wodurch bei weitgehaltenen Rohrleitungen die Spannung in den Zylindern bis zur Höhe des Kesseldruckes anwachsen kann. Die in Abb. 34 wiedergegebenen

---

[1]) E. T. d. G. 1. Aufl. S. 328. Die Lokomotive 1908 S. 99.
[2]) Die Lokomotive 1909 S. 9 und 12.
[3]) Die Lokomotive 1906 S. 59.
[4]) Die Lokomotive 1909 S. 198. Z. d. V. d. I. 1908 S. 1923.
[5]) Die Lokomotive 1908 S. 99.

Anfahrdiagramme aus Versuchen der Schweizer Bundesbahnen veranschaulichen deutlich die vorzügliche Wirksamkeit dieser Maßregel. Besonders zu beachten ist, daß im zweiten Diagramm selbst bei 85 vH Kolbenweg, also kurz vor dem Vorausströmen, noch kräftiger Druckanstieg mit der schraffierten Arbeitsfläche erfolgte. Weniger wirksam sind die Ausgleichkanäle von Lindner[1]) in den Hochdruckschiebern selbst, zur Ueberleitung des Verbinderdampfes zum Druckausgleich von einer Kolbenseite auf die andere (vergl. Abb. 18). Die Quer-

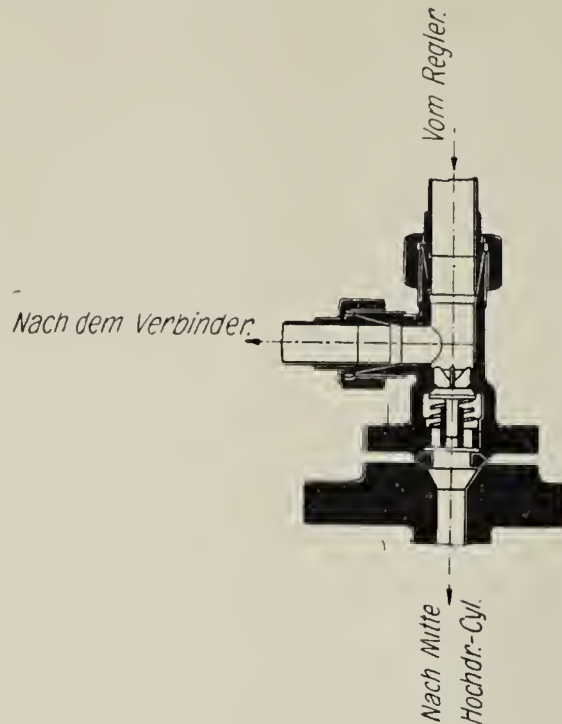


Abb. 33. Anfahrvorrichtung für Vierzylinder-Verbundlokomotiven von v. Borries.

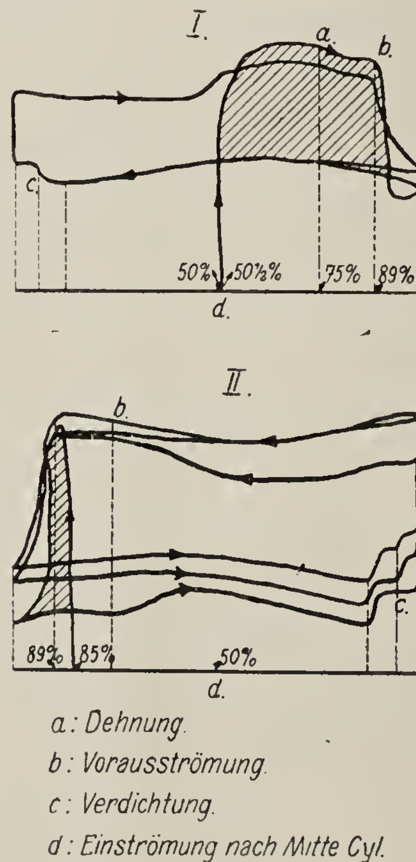


Abb. 34. Anfahrdiagramme der Hochdruckzylinder von Vierzylinder-Verbundlokomotiven mit Frischdampfabgabe nach Mitte Hochdruckzylinder. (Versuche der Schweizer Bundesbahnen.)

---

[1]) In Anwendung bei den Schweizer Bundesbahnen. Vergl. S. 39/40.

schnitte dieser Kanäle können nur klein sein, so daß der Druckausgleich sich nicht genügend rasch vollziehen kann. Maffei benutzt daher zugleich mit den Anfahrhähnen von der Steuerwelle bediente Hähne[1]) zur direkten Verbindung der Hochdruckseiten. Bei dieser Vorrichtung ist der Druckausgleich für die Hochdruckkolben ein vollständiger; sie »schwimmen«, während die Niederdruckzylinder das Anfahren mit genügend gedrosseltem Frischdampf allein besorgen.

Von den Anfahrvorrichtungen mit gesteuerter Zuführung des Hilfsdampfes, Gruppe 3, ist für die Vierzylinder-Verbundlokomotiven hauptsächlich die Anordnung von Gölsdorf zur Anwendung gekommen; in geringerem Umfang nur diejenigen von Lindner III und Ranafier. Die Gölsdorf-Anfahrvorrichtung entspricht in ihrer Ausführung genau der Bauart für Zweizylinder-Verbundlokomotiven nach Abb. 23. Es ergibt sich infolge der K. V. von 180^0 aber der Vorteil, daß negative Drehmomente aus den Hochdruckzylindern überhaupt nicht entstehen. Die Anfahrkanäle für die Niederdruckzylinder werden jeweilig schon geschlossen, bevor für den zugehörigen Hochdruckzylinder Füllungsabschluß erfolgt, s. Abb. 32, Linie *a*. Dabei ist aber zu beachten, daß die Verbinder beider Zylindergruppen keinen gemeinsamen Raum bilden dürfen, weil eine der vier Anfahrbohrungen in jeder Kurbelstellung geöffnet ist. Die Verbinder würden dann in den betreffenden Kurbelstellungen, d. s. die Dehnungsperioden der Hochdruckzylinder, nicht spannungsfrei sein; so aber entsprechen die sich ergebenden Anfahrzugkräfte der Abb. 32, Linie *a* mit $Z_{a\,min}$ etwa 0,53 Z_r.

Die großen Vorzüge der Gölsdorf-Anfahrvorrichtung sind bereits bei den Zweizylinder-Verbundlokomotiven hervorgehoben; ihre Nachteile erscheinen bei den Vierzylinder-Verbundlokomotiven noch geringer. Die Zylinderabmessungen an sich sind bei diesen stets kleiner, die Niederdruckschieber werden daher nicht mehr so groß und schwer (vergl. S. 48). Auch die Beschränkung der Fahrtfüllung auf denjenigen Füllungsgrad, bei welchem die Anfahrbohrungen noch geschlossen sind, ist nicht so streng zu nehmen. Nachströmung von Frischdampf in die Verbinder beim Fahren mit den größten Füllungen kann nur die Kräfteverteilung zwischen Hoch- und Niederdruckzylindern beeinflussen, nicht aber die Gleichmäßigkeit derselben für beide Maschinenseiten, welche, wie schon erwähnt, durch die Doppelanordnung an sich gegeben ist.

Die Ranafier-Anfahrvorrichtung erhält bei den Vierzylinder-Verbundlokomotiven eine entsprechend geänderte Ausführungsform. Jede Maschinenseite bekommt ein besonderes Anfahrventil, welche in der beschriebenen Weise, vergl. Abb. 22, gesteuert und durch Verschieben des Dampfverteilers in die dritte Lage mit Frischdampf gespeist und kraftschlüssig »eingerückt« werden. Von jedem Anfahrventil aber werden zwei Leitungen abgezweigt, sodaß gleichzeitig immer 2 Zylinder mit gegenläufigen Kolben, also je ein Paar zusammengehöriger Hoch- und Niederdruckzylinder, mit Frischdampf versorgt werden. Gleichfalls vorgesehen ist die Hilfsleitung vom Dampfverteiler zu den Verbindern. Mit dieser Anordnung wird für das Anfahren von der Stelle Vollfüllung (wirksam bis zur Vorausströmung) in allen Zylindern erreicht mit der außergewöhnlich günstigen Kräfteerzeugung nach Abb. 32, Linie *b*, bei welcher $Z_{a\,min}$ sich zu 0,73 Z_r ergibt. Diese günstige Wirkungsweise ist bei den Vierzylinder-Verbundlokomotiven weniger abhängig von der sachgemäßen Bedienung des Dampfverteilers. In der Regel kann derselbe beim Anfahren jedesmal sogleich in die dritte Lage gebracht werden, weil negative Drehmomente aus den Hochdruck-

[1]) Die Lokomotive 1906 S. 59. 2-B-1 Vierzylinder-Verbund-Schnellzuglokomotive der Pfalzbahn.

zylindern infolge der Nachfüllung bis zur Vorausströmung nicht entstehen können. In bezug auf Kräftewirkung ist die Ranafier-Anfahrvorrichtung daher unerreicht; ihre Einfachheit dagegen steht weit hinter allen anderen Anfahrvorrichtungen der 1. Art zurück. Ausgeführt ist sie für Vierzylinder-Verbundlokomotiven bisher nur einmal, und zwar für die Lokomotive Gruppe S_9 der Preußischen Staatsbahn Nr. 947 Hannover[1]), welche mit Lentz-Ventilsteuerung ausgerüstet ist.

Die Anfahrvorrichtungen mit Ueberströmung an den Hochdruckzylindern, Gruppe 4, sind besonders in Amerika üblich bei den Vauclain-Lokomotiven[2]). Die Hochdruckkolbenseiten werden bei ihnen durch Rohrleitungen verbunden, in welche vom Führer bediente Absperrhähne eingeschaltet sind. Zum Anfahren werden diese geöffnet, um den Frischdampf von einer Hochdruckkolbenseite auf die andere zu den Niederdruckzylindern überzuleiten, welche im wesentlichen das Anfahren bewirken. Dieselbe Art des Anfahrens ist auch bei allen Tandem-Vauclain-Lokomotiven[3]) gebräuchlich. Bei diesen wird die Ueberströmung vermittelt durch mit Absperrhähnen versehene Verbindungsrohre zwischen den Dampfkanälen der Hochdruckzylinder, Abb. 35. In dem Maße der Oeffnung der Anfahrhähne wird bei allen diesen Vorrichtungen der Gegendruck in den Hochdruckzylindern zunehmen und in ihnen die Kräftewirkung mehr und mehr aufgehoben. Da die Amerikaner die Verbinderhöchstspannungen nicht begrenzen, so wird bei ganz geöffneten Hähnen die Verbinderspannung bis zur Höhe des Kesseldruckes anwachsen. Die Lokomotive fährt dann allein mit den Niederdruckzylindern an bei völligem Druckausgleich an den Hochdruckkolben. Die dadurch bis zur Höchstgrenze gesteigerte Kräftewirkung entspricht dann derjenigen einer Zwillingslokomotive mit Zylindern von dem großen Durchmesser der Niederdruckzylinder.

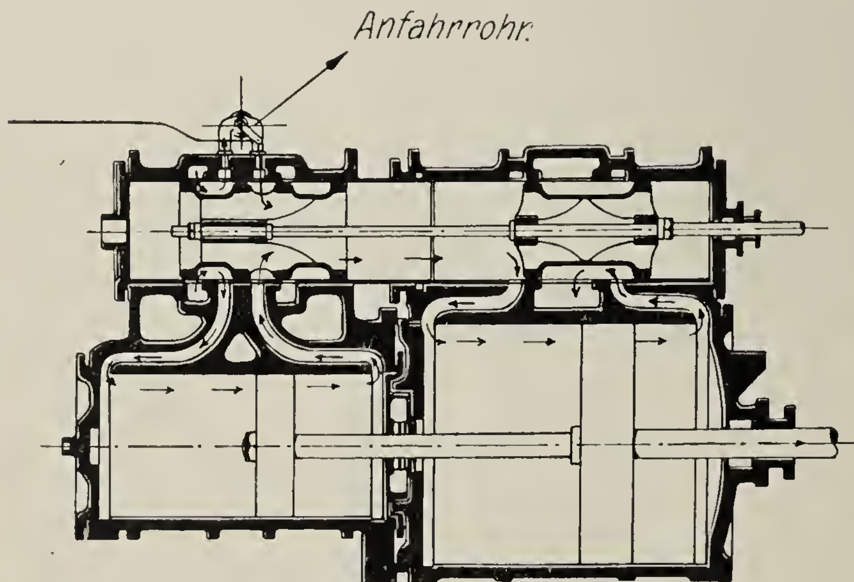


Abb. 35. Anfahrvorrichtung der Vauclain-Vierzylinder-Verbund-Tandemlokomotiven.

Neuerdings ist diese Art des Anfahrens mittels Ueberleitung des Frischdampfes von einer Hochdruckkolbenseite auf die andere auch in Europa angewandt worden. Die Württembergische[4]) und Preußische Staatsbahn[5]) benutzen dieselbe bei ihren neuesten Vierzylinder-Verbundschnellzuglokomotiven

---

[1]) Die Lokomotive 1910 S. 256.
[2]) Garbe S. 54.
[3]) Garbe S. 87. Z. d. V. d. I. 1905 S. 1677.
[4]) Die Lokomotive 1910 S. 34.
[5]) Z. d. V. d. I. 1913 S. 2086.

(Gruppe *C* bezw. $S_{10\,Verb}$), und zwar in sinnreicher Weise mittels der ohnehin vorhandenen Druckausgleichvorrichtungen. Die Wirkungsweise ist dieselbe wie bei den Vauclain-Lokomotiven; nur die Verbinderhöchstspannungen sind zur Vermeidung von Ueberlastungen der Niederdrucktriebwerke durch genügend große Sicherheitsventile auf 8 at begrenzt. Zum Anfahren werden beim Oeffnen des Reglers die Druckausgleichhähne an den Hochdruckzylindern auf Ausgleich eingestellt, diejenigen der Niederdruckzylinder bleiben geschlossen. Vor und hinter den Hochdruckkolben und folglich in den Verbindern entsteht der gleiche Druck. Hat dieser 8 at erreicht, nach Beobachtung am Verbindermanometer, so werden die Hochdruckumlaufhähne geschlossen, und in den Schieberkästen der Hochdruckzylinder wird sich alsbald der Kesseldruck von 15 at einstellen. Diese werden sich daher mit $15 - 8 = 7$ at Ueberdruck am Anfahren beteiligen, die Niederdruckzylinder mit 8 at Ueberdruck.

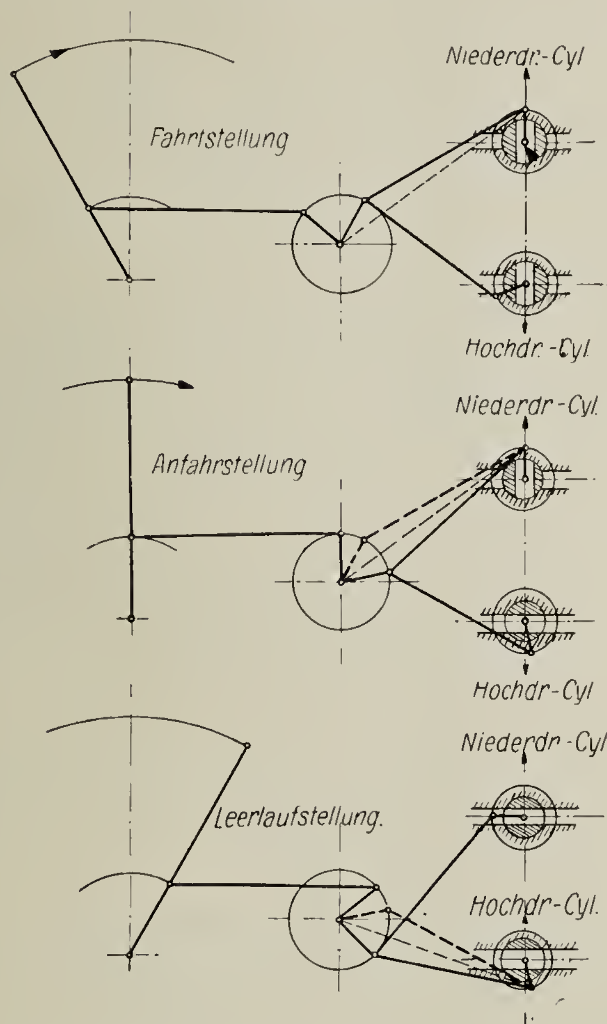


Abb. 36. **Anfahren der Lokomotiven Gruppe $S_{10\,Verb}$ der Preußischen Staatsbahn mittels der Druckausgleichvorrichtungen (D. R. P. Nr. 252 644 von Henschel & Sohn).**

Beachtenswert ist die Ausbildung des Druckausgleichzuges zum Zwecke des Anfahrens bei den preußischen Lokomotiven[1]). Die Betätigung der vier Umlaufhähne erfolgt durch nur einen Zug, Abb. 36. Dieser gestattet folgende Stellungen der Hähne: 1) In der einen Endstellung sind die vier Hähne geschlossen. 2) Durch Verlegen des Zuges in die Mittelstellung werden für das Anfahren allein die Umlaufhähne an den Hochdruckzylindern geöffnet. Das Gestänge der Niederdruckumlaufhäne macht dabei solche Bewegungen, daß die Zugstangen nur durchschwingen, ohne die Hähne zu drehen. 3) Beim Verlegen

[1]) D. R. P. Nr. 252 644 vom 9. 12. 1911 von Henschel & Sohn-Cassel.

in die andere Endstellung bleiben die Hochdruckhähne geöffnet; deren Zugstangen schwingen jetzt durch, während die Niederdruckhähne Drehbewegung erhalten und gleichfalls geöffnet werden. In dieser Stellung sind also an allen Zylindern die Hähne offen zum Druckausgleich für die Leerfahrt.

Diese Anfahrvorrichtung hat sich bei beiden Verwaltungen sehr gut bewährt. Die Kräftewirkung ist völlig ausreichend; nach Abb. 32, Linie c ergibt sich $Z_{a\,min}$ zu etwa 0,53 Z_r. Eine ursprünglich vorgesehene zusätzliche Frischdampfabgabe nach den Verbindern hat sich als unnötig erwiesen; der Druckanstieg in diesen erfolgt in jedem Fall rasch genug. Die ganze Vorrichtung ist zudem sehr einfach und leicht zu bedienen und erfordert außer der entsprechenden Durchbildung des Druckausgleichzuges keine besonderen Teile.

In erheblichem Umfang sind bei den Vierzylinder-Verbundlokomotiven auch Wechselvorrichtungen zur Anwendung gekommen. Die Wirkungsweise an sich ist bei allen die gleiche wie bei den Zweizylinder-Verbundlokomotiven. In bezug auf ihre Bedienung sind aber zwei voneinander völlig verschiedene Anordnungen zu unterscheiden. Die erste derselben, Gruppe 5, läßt die Absperrung zwischen Hoch- und Niederdruckzylindern und die Zuführung des Hilfsdampfes für letztere unabhängig voneinander durch zwei selbständige Operationen erfolgen; außer den eigentlichen Umschaltschiebern ist noch ein besonderes Frischdampfventil vorhanden. Die Grundform dieser Art der Wechselvorrichtungen ist die allbekannte von de Glehn[1]), Abb. 37. Diese ermöglicht infolge Trennung der Umschaltung von der Frischdampfzuführung außer der regelmäßigen Vierzylinder-Verbundwirkung vier verschiedene Arbeitsweisen: 1) als Vierlingslokomotive mit Frischdampf in den vier Zylindern; 2) und 3) als einfache Zwillingsmaschine je allein mit den Hoch- bezw. Niederdruckzylindern (besonders bei Beschädigung eines Zylinders oder Triebwerkes); 4) als Vierzylinder-Verbundlokomotive mit einfacher Frischdampfabgabe nach den Niederdruckzylindern. Der Führer hat es also in der Hand, je nach Zugstärke verschieden große Zugkräfte auszuüben; vereinfacht wird die Bedienung einer de Glehn-Lokomotive dadurch aber gerade nicht.

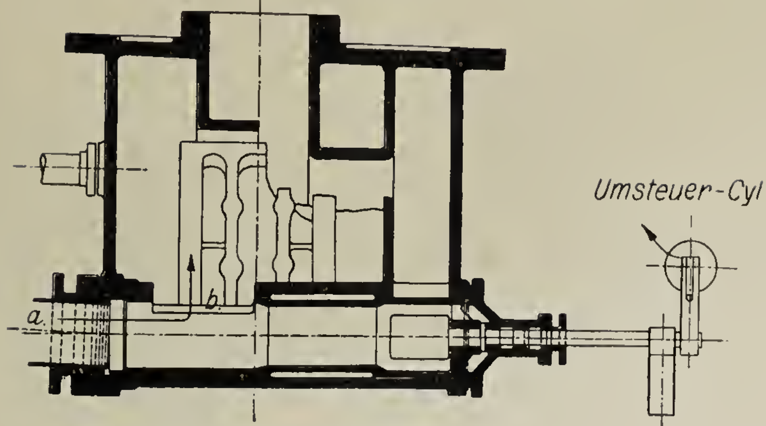
Die andere Gruppe, Nr. 6, der Wechselvorrichtungen bewirkt die Umschaltung und Frischdampfzuführung in einer Operation durch dasselbe Organ wie bei den Zweizylinder-Verbundlokomotiven. Diese Anordnungen lassen daher nur Zwillings- oder Verbundwirkung zu.

Die Bedienung der Wechselventile erfolgt allgemein von Hand, entweder unmittelbar oder nach dem Vorbild von de Glehn mittels eines durch Dampf oder Preßluft betriebenen Kraftzylinders, wobei der Führer nur das Steuerventil zu bedienen hat. Die konstruktive Form des Wechselorgans selbst ist gewöhnlich ein eingeschliffener Rohrschieber (de Glehn) oder Drehschieber. Besonders letztere verlangen eine sehr sorgfältige Herstellung und aufmerksame Instandhaltung, wenn nicht entweder Klemmen und Festsitzen oder übermäßige Dampfdurchlässigkeit eintreten soll, wie z. B. bei den Drehschiebern der Preußischen Staatsbahn[2]) nach Abb. 38, mit welchen eine größere Zahl von Lokomotiven der Gruppe S_7 (Hann. Bauart 1902) ausgerüstet ist. Frei von solchen Uebelständen sind Wechselschieber mit Achsialbewegung für das Umstellen, bei welchen die Abdichtung nicht durch Einschleifen erfolgt, sondern durch federnde Ringe nach Art der Kolbenschieber. Wechselkolben dieser Art nach Abb. 39

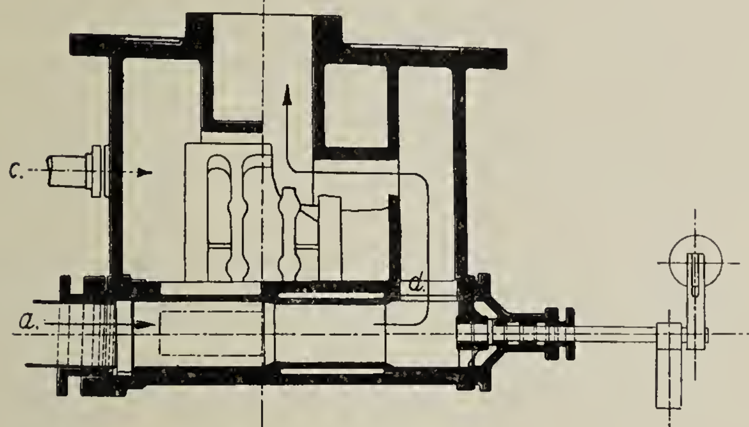
---

[1]) Z. d. V. d. I. 1894 S. 1385, 1906 S. 556. E. T. d. G. 2. Aufl. S. 380.
[2]) Die Lokomotive 1909 S. 223.

Stellung bei Verbundwirkung.



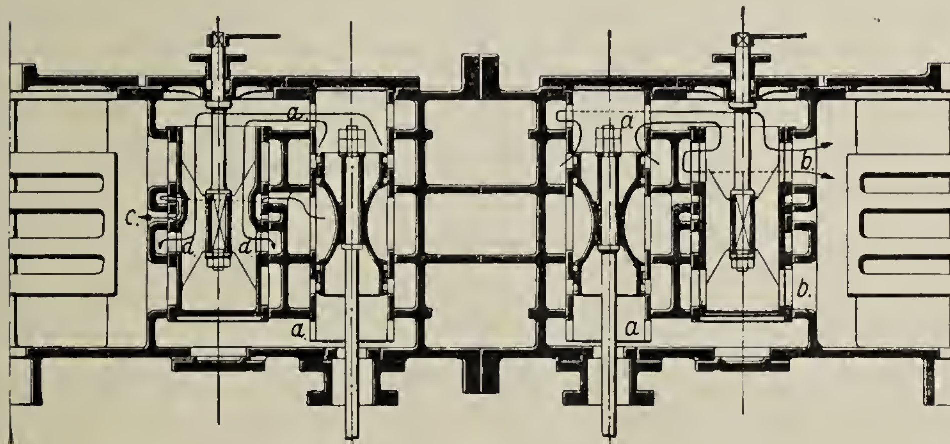
Stellung bei Zwillingswirkung.



a: vom Hochdr.-Cyl.
b: zum Niederdr.-Cyl.
c: Frischdpf. für Niederdr.-Cyl.
d: vom Hochdr.-Cyl. zum Blasrohr.

Abb. 37. Wechselvorrichtung von de Glehn mit Servo-Motor.

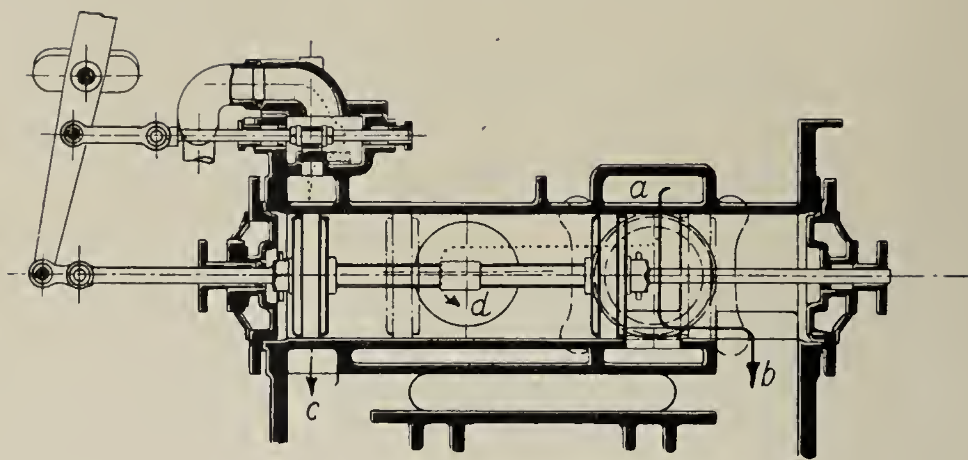
Stellung bei Zwillingswirkung. *Stellung bei Verbundwirkung.*



a vom Hochdr-Cyl.
b. zum Niederdr-Cyl.
c: Frischdpf. fur Niederdr.-Cyl.
d: vom Hochdr.-Cyl. zum Blasrohr.

Abb. 38. Wechseldrehschieber der Vierzylinder-Verbundlokomotiven Gruppe S_7 (Hannoversche Bauart 1902) der Preußischen Staatsbahn.

Stellung bei Verbundwirkung.



a: vom Hochdr.-Cyl.
b: zum Niederdr.-Cyl.
c: Frischdpf. für Niederdr.-Cyl.
d: vom Hochdr.-Cyl. zum Blasrohr.

Abb. 39. Wechselzugschieber der Vierzylinder-Verbundlokomotiven der Ungarischen Staatsbahn.

Zahlen-
Anziehkräfte von Lokomotiven

Nr.	Lokomotivbauart (Jahr der Einführung)	Gruppenbezeichnung	Zylinderabmessungen $\frac{d_h + d_n}{s}$ mm
1	1880. C Naßdampf-Zwillings-Güterzuglokomotive	G_3	$\frac{2 \times 450}{630}$
2	1885. C Naßdampf-Verbund-Güterzuglokomotive mit Anfahrvorrichtung 1. Art	G_3	$\frac{460 + 650}{630}$
3	1903. C Naßdampf-Verbund-Güterzuglokomotive mit Wechselvorrichtung	G_4	$\frac{460 + 680}{630}$
4	1895. D Naßdampf-Zwillings-Güterzuglokomotive	$G_{7\,Zw}$	$\frac{2 \times 520}{630}$
5	1895. D Naßdampf-Verbund-Güterzuglokomotive mit Wechselvorrichtung	$G_{7\,Verb}$	$\frac{530 + 750}{630}$
6	1905. D Heißdampf-Zwillings-Güterzuglokomotive	G_8	$\frac{2 \times 600}{660}$
7	1880. 1-B Naßdampf-Zwillings-Personenzuglokomotive . .	P_3	$\frac{2 \times 400}{560}$
8	1892. Erfurter Bauart. 2-B Naßdampf-Zwillings-Personenzuglokomotive	S_2	$\frac{2 \times 430}{600}$
9	1893. Hannov. Bauart. 2-B Naßdampf-Verbund-Schnellzuglokomotive mit Wechselvorrichtung	S_3	$\frac{460 + 680}{600}$
10	1905. 2-B Heißdampf Zwillings-Schnellzuglokomotive . . .	S_6	$\frac{2 \times 550}{630}$
11a	1902. Hannov. Bauart. 2-B-1 Vierzylinder-Verbund-Schnellzuglokom. a) mit Frischdampf für Niederdr.-Zyl.	S_7	$\frac{2 \times 360 + 2 \times 560}{600}$
b	b) mit Frischdampf für Niederdr.-Zyl. und Druckausgleich	S_7	
c	c) mit Wechselvorrichtung	S_7	
12a	1910. 2-C Vierzylinder-Heißdampf-Schnellzuglokomotive. .	$S_{10\,Zw}$	$\frac{4 \times 430}{630}$
b	1911. 2-C Vierzylinder-Verbund-Heißdampf-Schnellzuglokomotive	$S_{10\,Verb}$	$\frac{2 \times 400 + 2 \times 610}{660}$

werden z. B. von der Ungarischen Staatsbahn[1]) mit bestem Erfolg bei ihren sämtlichen Vierzylinder-Verbundlokomotiven zur Ausführung gebracht.

Alle Wechselvorrichtungen leiden naturgemäß auch bei den Vierzylinder-Verbundlokomotiven an dem schon hervorgehobenen Nachteil, daß der Arbeitsdampf für die Niederdruckzylinder stets durch sie hindurchströmen muß (vergl. S. 52). Viele Bauarten nehmen zumeist noch wenig Rücksicht darauf und haben so ungünstige Dampfwege, daß erhebliche Energieverluste unvermeidlich sind. Das ist besonders bei dem oben erwähnten Drehschieber der Preußischen Staatsbahn der Fall; die Anordnung von de Glehn, Abb. 37, weist dagegen in der Regel eine gute Führung für den überströmenden Verbinderdampf auf.

Bei den Mallet-Lokomotiven mit zwei getrennten Triebwerksgruppen sind zur Erleichterung des Anfahrens gewöhnlich nur einfache Frischdampfleitungen in den Verbinder vorgesehen, entsprechend Gruppe 1 b, wodurch bei großen Höchstfüllungen auch ausreichende Anfahrzugkräfte erzielt werden können, s. Zahlentafel 14, 3 a, S. 62/63.

---

[1]) Z. d. V. d. I. 1907 S. 785. Die Lokomotive 1910 S. 100.

tafel 15.
der Preußischen Staatsbahn.

Nr.	größte Füllung $\frac{\varepsilon_{max\,h}}{\varepsilon_{max\,n}}$ vH	Kesselüberdruck p_k at	Treibraddurchmesser D mm	Reibungsgewicht G_r t	größte Reibungszugkraft $Z_r = G_r\,225$ kg	1. Charakteristik $C_1 = \frac{100 \cdot J}{\frac{\pi}{2} \cdot D}$	2. Charakteristik $C_2 = \frac{C_1}{G_r}$	kleinste Anfahrzugkraft $Z_{a\,min}$ kg	kleinste Anfahrzugkraft $\frac{Z_{a\,min}}{Z_r} = c_{min}$	größte mittlere Zugkraft Z_{m1} kg	größte mittlere Zugkraft $\frac{Z_{m1}}{Z_r} = c_{m1}$
1	75	12	1350	40,0	9000	945,0	23,6	3300	0,37	8700	0,97
2	75/80	12	1350	40,3	9050	985,8	24,4	2350	0,26	5900	0,65
3	75/80	12	1350	42,0	9450	1079,0	25,7	3750	0,40	10050	1,06
4	75	12	1250	52,3	11800	1362,0	26,0	4800	0,41	12600	1,07
5	75/80	12	1250	52,3	11800	1417,5	27,1	4950	0,42	13200	1,12
6	75	12	1350	56,0	12600	1760,0	31,4	6150	0,49	16250	1,29
7	75	12	1750	25,3	5700	512,0	20,2	1800	0,31	4700	0,81
8	75	12	1980	28,2	6350	560,3	20,0	1950	0,31	5150	0,81
9	75/80	12	1980	30,4	6850	700,6	23,4	2450	0,36	6550	0,96
10	70	12	2100	32,0	7200	907,5	28,4	2680	0,37	8150	1,13
11a								2350	0,33	6600	0,94
b	70/82	14	1980	31,5	7050	920,0	29,2	3550	0,50	6600	0,94
c								4650	0,66	8450	1,20
12a	75	12	1980	50,5	11350	1176,6	23,3	4650	0,41	10750	0,95
b	85/85	15	1980	51,0	11500	1240,3	24,3	5400	0,47	10950	0,95

d) Bedingungen für eine vollkommene Anfahrvorrichtung für Vierzylinder-Verbundlokomotiven.

Die Anforderungen, denen Anfahrvorrichtungen für die Vierzylinder-Verbundlokomotiven genügen müssen, entsprechen den bei den Zweizylinder-Verbundlokomotiven aufgestellten Grundsätzen:

A) In bezug auf Kräftewirkung:

1) Für das Anfahren von der Stelle muß auch in der ungünstigsten Kurbelstellung die kleinste Anfahrzugkraft $Z_{a\,min} = 0{,}4$ bis $0{,}5\ Z_r$ betragen.

2) Die größte mittlere Zugkraft für das weitere Anfahren muß so groß sein, daß mit $Z_{m1} = 0{,}9$ bis $1{,}0\ Z_r$ volle Ausnutzung der Reibung erreicht wird.

B) In bezug auf konstruktive Durchbildung:

1) Während der Fahrt dürfen keine beweglichen Teile zusätzlich eingeschaltet sein, und bei jedem mit der äußeren Steuerung möglichen Füllungsgrad muß störungsfreie Anwendung der Verbundwirkung möglich sein.

2) Die Anfahrvorrichtungen dürfen durch ihre Bauart keine Schmälerung der durch die Verbundwirkung erreichbaren größten wirtschaftlichen Vorteile (durch Drosselung und Abkühlung) verursachen.

3) Die Wirkungsweise muß zuverlässig, die Bedienung so einfach wie möglich sein.

Für die Vierzylinder-Verbundlokomotiven gibt es, im Gegensatz zu den Zweizylinder-Verbundlokomotiven, eine ganze Reihe von Anfahrvorrichtungen, die allen diesen Bedingungen gerecht werden. Geeignet sind alle Anfahrvorrichtungen der 1. Art. Zur Erzielung ausreichender Anfahrzugkräfte genügen bereits die einfachen Frischdampfzuführungen nach den Verbindern oder Ueberströmvorrichtungen an den Hochdruckzylindern in Verbindung mit großen Höchstfüllungen (Nachfüllungen) oder mit Druckausgleich. Die Reibung voll ausnutzende größte mittlere Zugkräfte sind in der Regel ohne weitere Hilfsmittel mit reiner Verbundwirkung zu erreichen. Die erwähnten Anfahrvorrichtungen erfüllen auch die in bezug auf Bauart und Bedienung zu stellenden Anforderungen. Gleich vorteilhaft ist die Gölsdorf-Anfahrvorrichtung, weniger die nach Lindner III und Ranafier. Die Kräftewirkung der letzteren ist zwar eine gute; als einfach in der Bauart können sie aber nicht bezeichnet werden.

Ganz ausscheiden sollten bei den Vierzylinder-Verbundlokomotiven die Wechselvorrichtungen, um die unter B, 2 genannten, oft erheblichen Energieverluste zu vermeiden. Zur Erzielung ausreichender Anfahrzugkräfte sind jene bei Vierzylinder-Verbundlokomotiven nicht erforderlich.

Fast alle Bahnverwaltungen verwenden daher bei ihren neuesten Vierzylinder-Verbundlokomotiven Anfahrvorrichtungen der 1. Art; die Preußische und Württembergische Staatsbahn Ueberströmvorrichtungen an den Hochdruckzylindern, die Bayerische und Badische Staatsbahn einfache Anfahrhähne mit Druckausgleich (neuerdings ohne besondere Füllventile), die Oesterreichische Staatsbahn die Gölsdorf-Anfahrvorrichtung usw. Auch in Frankreich, dem Lande der bevorzugten Anwendung der de Glehn-Lokomotiven, verwendet man heute, bei Höchstfüllungen von 80 bis 85 vH, gewöhnlich nur noch einfache Frischdampfzuführungen (Paris-Lyon-Mittelmeerbahn, Westbahn, Südbahn u. a.).

C) Die Anfahrverhältnisse der Dreizylinder-Verbundlokomotiven.

Bei den Dreizylinder-Verbundlokomotiven ist die Gestaltung der Anfahrverhältnisse hauptsächlich abhängig von der K. V. zwischen den drei Zylindern (vergl. S. 26). Allein mit dem Hochdruckzylinder kann das Anfahren von der Stelle nur aus einer bestimmten Reihe von Kurbelstellungen geschehen; in den übrigen muß die Einleitung der Bewegung durch die Niederdruckzylinder erfolgen. Letzteren muß daher für das Anfahren Frischdampf (von verminderter Spannung) durch besondere Anfahrvorrichtungen zugeführt werden.

Bei der gebräuchlichsten K. V. von je 120° genügt eine einfache Frischdampfzuführung in den Verbinder mit Entlastung des Hochdruckkolbens von dem Gegendruck der Verbinderspannung während der Dehnungsperioden im Hochdruckzylinder. Die sich ergebenden Anfahrverhältnisse entsprechen dann im wesentlichen denen einer gewöhnlichen Drillingslokomotive.

Stehen beide Niederdruckkurbeln unter 90°, die Hochdruckkurbel in Richtung der Winkelhalbierenden, so kann das Anfahren ebenfalls durch Frischdampfzuführung zu den Niederdruckzylindern erfolgen, und zwar mit diesen allein wie bei einer Zwillingslokomotive, wenn für den Hochdruckkolben völliger Druckausgleich durch Verbindung beider Kolbenseiten vorgenommen wird.

Bei gleichgerichteten Niederdruckkurbeln und rechtwinklig dazu versetzter Hochdruckkurbel ergeben sich für das Anfahren genau die gleichen Verhältnisse wie bei den Zweizylinder-Verbundlokomotiven. Als Anfahrvorrichtung ist daher in diesem Falle am besten ein entsprechend ausgebildetes Wechselventil am Platz.

Buchdruckerei A. W. Schade, Berlin N., Schulzendorferstr. 26.


3 0112 073247246